



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

"DISEÑO E INTEGRACION DE UN SISTEMA DE PERFUSION PARA CIRUGIAS DE CORAZON ABIERTO".

288623

TESIS

Que para obtener el título de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

presenta

JORGE BASURTO HERNANDEZ

Asesor: M. I. LAURO SANTIAGO CRUZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Diseño e Integración de un Sistema de Perfusión para
Cirugías de Corazón Abierto

que presenta el pasante: Jorge Basurto Hernández
con número de cuenta: 8337472-0 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán izcalli, Méx. a 29 de Agosto del 2000

PRESIDENTE Ing. Juan Rafael Caribay Bermúdez

VOCAL Ing. José Ubaldo Ramírez Urizar

SECRETARIO M.I. Lauro Santiago Cruz

PRIMER SUPLENTE Ing. Petra Medel Ortega

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Rodolfo Lóvez González

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por la oportunidad de vivir y por que su compañía en todo momento de mi vida me ha indicado el camino a seguir.

A mi esposa. Por ser la fuerza que me movió para completar este trabajo y por ser la mujer mas maravillosa que he conocido, este trabajo también es de ella y a ella se lo dedico en su totalidad

A mi madre. Por ser quien me dio la vida y por que siempre me apoyo durante mi carrera, su ejemplo de tenacidad me ha dado siempre la fuerza para luchar por las cosas que valen la pena en la vida y por ser mi madre.

A mi hija Julieta. Por que me ha enseñado la mejor parte de la vida, el ser padre.

A mis hermanos. Por que han compartido conmigo todo lo bueno y malo que nos ha tocado vivir como familia y siempre han estado ahí para celebrar mis triunfos o reconfortar mis fracasos.

A mi suegra. Por su apoyo y tiempo que dedico a cuidar del embarazo de mi esposa mientras yo me ausentaba de casa para terminar este trabajo.

A mis amigos de la Universidad. Por su apoyo moral en los últimos semestres de la carrera.

A mi padre. Donde quiera que este sé que esto lo hubiera llenado de orgullo.

Jorge Basurto.

ÍNDICE GENERAL

	Págs.
Introducción.	1
I GENERALIDADES.	7
1.1 Principios de anatomía y fisiología cardiaca.	8
1.2 Circulación general.	10
1.3 Patologías del sistema circulatorio.	12
1.4 Historia de la circulación extracorpórea.	13
1.5 Fisiología de la circulación extracorpórea.	17
1.6 Componentes del circuito extracorpóreo.	18
II DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	25
2.1 Arquitectura del sistema.	25
2.2 Descripción funcional de los bloques del sistema de perfusión.	29
2.3 Alcances del proyecto.	31
2.4 Conceptos básicos.	34
III INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA.	51
Diseño del intercambiador de temperatura.	51
3.1 Descripción de la operación del intercambiador de temperatura por bloques.	55
3.2 Diseño de los recipientes de agua y del módulo de calefacción.	57
3.3 Diseño del módulo direccionador de flujo (Circuito hidráulico).	60
3.4 Sistema de bombeo.	61
3.5 Diseño del circuito eléctrico del intercambiador de temperatura.	61
3.6 Diseño del módulo de medición de temperatura.	62

3.7	Diseño del módulo acondicionador de señales.	63
3.8	Diseño del módulo de <i>interface</i> con el usuario.	80
3.9	Diseño del módulo de procesamiento de datos y control.	81
	a) Selección y características del microcontrolador.	81
	b) Asignación de funciones a las terminales del <i>MCU</i> .	91
3.10	Diseño de la fuente de alimentación.	117
	a) Voltaje de +12 <i>VCD</i> .	118
	b) Voltaje de +5 <i>VCD</i> .	119
3.11	Diagrama eléctrico del intercambiador de temperatura.	122
3.12	Lista de partes del intercambiador de temperatura.	125
3.13	Diseño del <i>Software</i> de control.	126
3.14	Diagramas de flujo.	126
	a) Programa principal.	126
	b) Rutina de comparación y búsqueda.	128
	c) Subrutina de programación de la temperatura.	131
	d) Subrutina de transmisión de datos (<i>TX_SERIE</i>).	133
	e) Subrutina de despliegue de la temperatura.	135
	f) Rutina de servicio de interrupciones.	136
3.15	Listado del programa del intercambiador de temperatura (Compilación).	140
IV	BOMBA DE RODILLOS.	149
	Diseño de la bomba de rodillos.	149
4.1	Diseño del módulo de monitoreo de velocidad (Tacómetro).	157
4.2	Diseño del circuito de monitoreo de velocidad.	163
4.3	Diseño del módulo de control de velocidad del motor.	164
4.4	Diseño del módulo de <i>interface</i> con el usuario.	171
4.5	Diseño del módulo de control y procesamiento de datos.	173
	a) Selección y características del microcontrolador.	173
	b) Asignación de funciones a las terminales del <i>MCU</i> .	174
4.6	Carátula de la bomba de rodillos.	186

4.7	Operación de la bomba de rodillos.	187
a)	Selección de arranque o paro.	187
b)	Selección de sentido de giro.	188
c)	Selección del calibre de la manguera.	188
d)	Selección de <i>r.p.m.</i> ó <i>l.p.m.</i>	189
4.8	Diseño de la fuente de alimentación.	189
a)	Fuente de +24 <i>VCD</i> .	189
b)	Fuente de +5 <i>VCD</i> .	190
4.9	Circuito eléctrico de la bomba de rodillos.	194
4.10	Lista de partes de la bomba de rodillos.	198
4.11	Diseño del <i>Software</i> para el control de la bomba de rodillos.	199
4.12	Diagramas de flujo.	199
a)	Programa principal.	199
b)	Rutina de interrupciones.	200
c)	Subrutina de recepción serial.	205
d)	Subrutina de revisión de diámetro.	206
e)	Subrutina de multiplicación.	207
f)	Subrutina de conversión hexadecimal a decimal.	209
g)	Subrutina de transmisión serial.	212
h)	Subrutina de despliegue de datos.	213
4.13	Listado del programa de la bomba de rodillos (compilación).	215
V	<i>AEPS, BLENDER, OXIGENADOR y RESERVORIO.</i>	227
5.1	Descripción del sistema de protección contra embolias (<i>AEPS</i>).	227
5.2	Descripción de la operación del sistema de protección contra embolias <i>AEPS</i> .	228
5.3	Características del <i>AEPS</i> .	230
5.4	Selección de transductores de burbuja y nivel bajo.	231
5.5	Características del transductor seleccionado.	233
5.6	Tablero de control del <i>AEPS</i> .	234
5.7	Diseño y descripción del circuito eléctrico del <i>AEPS</i> .	236

5.8	Diseño de la fuente de alimentación.	242
	a) Fuente de alimentación de +12 VCD.	243
	b) Fuente de alimentación de +5 VCD.	244
5.9	Mezclador de aire – oxígeno (<i>blender</i>).	246
	a) Mezclador de aire oxígeno <i>SECHRIST</i> .	246
5.10	Oxigenador.	252
	a) Oxigenador de fibra hueca.	252
	b) Oxigenador de placa plana.	254
	c) Oxigenador pediátrico.	255
5.11	Reservorios.	257
VI	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE PERFUSIÓN.	259
	Componentes del sistema.	259
6.1	Intercambiador de temperatura.	260
6.2	Bombas de rodillos.	264
6.3	Módulo de protección contra embolias (<i>AEPS</i>).	268
6.4	Oxigenador, Filtro y Reservorio.	270
VII	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	273
	Bibliografía.	277
	Apéndice A: Glosario de términos.	A-1
	Apéndice B: Hojas de especificaciones del fabricante.	B-1

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen muchos padecimientos que aquejan a la población mundial, ocupando gran importancia los padecimientos cardiacos como causa de muerte en el mundo, agravando la situación el incremento de los niveles de estrés en la población como resultado de la globalización económica e interacción socio-económica de los países. Por lo tanto, es de suma importancia para todos los humanos el que se pueda hacer algún tipo de aportación tecnológica o científica para resolver parcialmente o totalmente estos padecimientos, pero en el transcurso de que esto se logre es necesario contar con la infraestructura que permita el tratamiento y diagnóstico de estos padecimientos; implicando que dentro del área médica, se lleve a cabo la investigación que nos conduzca al desarrollo de nuevas técnicas para la atención de estos padecimientos.

El área de ingeniería juega un papel importante dentro del desarrollo de estas técnicas, ya que es una de las áreas directamente responsables de apoyar al área médica en cuanto a investigación y desarrollo de nuevos sistemas y equipos que permitan realizar tratamientos más seguros, precisos y eficientes para el tratamiento de enfermedades.

Las corporaciones líderes en estas áreas de la electrónica hacen inversiones millonarias para perfeccionar estas tecnologías bajo el rubro de investigación y desarrollo; ellas buscan, después de todo, la recuperación económica de tal inversión haciendo que los sistemas resultantes para el tratamiento de determinadas patologías sean de un costo muy elevado, esto aunado a las barreras económicas existentes en los países en vías de desarrollo, los procesos inflacionarios y de paridad en el tipo de cambio hacen que el precio final de los sistemas para compradores locales de recursos limitados sea casi imposible de costear, por lo que, en nuestro país la adquisición de equipos nuevos está limitada a instituciones públicas o instituciones con grandes recursos.

Adicionalmente existen hospitales privados que ofrecen servicios de tratamiento y diagnóstico de enfermedades usando equipos viejos (con más de 20 años de uso), obsoletos o discontinuados en su manufactura, venta e incluso servicio de mantenimiento, por lo que los niveles de confiabilidad de operación de éstos son casi nulos así como lo es la disponibilidad de las partes de reemplazo. Esto presenta un riesgo al momento de su utilización durante operaciones quirúrgicas ya que pueden fallar, o durante el diagnóstico de enfermedades ya que pueden arrojar resultados no certeros creando así cuadros falsos de tratamiento.

En el campo de la cirugía cardíaca, donde los sistemas para el bombeo y oxigenación de la sangre hacen que este tipo de intervenciones sea de las más costosas, hemos encontrado una oportunidad para que, mediante el desarrollo de un sistema de perfusión sanguínea demos el marco teórico para que sea posible construirlos de manera local, esto repercutirá positivamente al haber una disponibilidad mayor de estos equipos permitiendo así que sea más accesible a hospitales con menos poder económico llevar a cabo estas intervenciones.

En la presente tesis se pretende hacer una aportación en relación con este tema, llevando a cabo la investigación de la operación y desarrollo de un sistema de perfusión, el cual como se revisará más adelante es un sustituto inmediato de la función que lleva a cabo el corazón y el pulmón, permitiendo ser utilizado en cirugías de corazón abierto cuando se requiere sacar de operación estos órganos vitales para llevar a cabo correcciones de algún mal en ellos.

El presente trabajo consta de 7 capítulos, cuyo contenido describiremos brevemente a continuación:

En el capítulo I se lleva cabo un análisis del uso, historia, evolución de la técnica de perfusión hasta nuestros días y se describen las ventajas de un equipo de perfusión actual contra los métodos de perfusión utilizados en los inicios de esta técnica, sentando así las bases sobre el cual se llevará a cabo el diseño de los componentes que integran este sistema.

En el capítulo II se hace un análisis de los alcances esperados por este trabajo, se presenta la arquitectura del sistema y se hace una descripción de cada uno de los elementos que lo constituyen, adicionalmente en este capítulo se presentan los conceptos básicos requeridos para poder llevar a cabo el diseño.

El diseño general del sistema está englobado en los capítulos III, IV y V. En el capítulo III se lleva a cabo el diseño de un intercambiador de temperatura, el cual es muy necesario en cirugías de corazón abierto para modificar las características metabólicas del paciente al bajar o subir la temperatura de la sangre y no ocasionar daños en él durante la cirugía. En esta parte se hace un análisis de los factores que afectan el intercambio térmico que existe con la sangre, se presenta también el diseño de los elementos de control que rigen la operación del intercambiador, se presenta un diseño del módulo de *interface* con el usuario, y se incluye también el diseño de la fuente de alimentación eléctrica.

En el capítulo IV se lleva a cabo el diseño de una bomba de rodillos, la cual dentro del sistema de perfusión es responsable del bombeo de la sangre para ser retirada o impulsada al paciente. El diseño de este módulo incluye el análisis de los requerimientos médicos que deben ser cubiertos en términos de los volúmenes de flujo desplazados por la bomba para de ahí partir con la selección de los componentes que llevarán a cabo el control y manipulación de los datos generados por los elementos que integran la bomba, se diseñará el módulo de *interface* con el usuario (o de control) y la fuente de alimentación eléctrica para la circuitería utilizada en este módulo.

En el capítulo V se lleva a cabo la integración y diseño del sistema del AEPS, este sistema es responsable de monitorear la presencia de aire atrapado en el flujo de sangre que va hacia el paciente y que pudiera ocasionar daño irreversible al paciente, como lo sería una embolia, o que el nivel del recipiente de sangre esté por debajo de lo recomendado, ocasionando, en determinado momento, que no exista sangre oxigenada y filtrada que pueda ser enviada al paciente. Se propone un mezclador de aire y oxígeno comercial, el cual no se diseñará en este trabajo ya que su funcionamiento es básicamente mecánico. Este equipo es la parte responsable de proporcionar una mezcla apropiada de oxígeno y aire ya que debe contar con ciertas características para poder llevar a cabo el intercambio de bióxido de carbono de la sangre por oxígeno en el oxigenador. También se hace un estudio de los diferentes tipos y marcas de oxigenadores existentes en el mercado nacional sugiriendo el uso de algunos de ellos.

En el capítulo VI se lleva a cabo la integración de los equipos diseñados presentando el *chasis* y la distribución de los componentes dentro de éste, se proponen diseños de gabinetes tanto para la bomba de rodillos como para el intercambiador de temperatura y se presenta un modelo propuesto para el sensor

de burbuja tanto en la línea como en el reservorio de sangre.

En el capítulo VII se presenta un resumen de los pasos seguidos para el diseño de los equipos enunciando algunos puntos de interés y se llevan a cabo las conclusiones. Así como un análisis de los resultados esperados contra los obtenidos.

Finalmente, concluiremos nuestra tesis incluyendo la bibliografía consultada, un glosario de términos utilizados a lo largo de este trabajo y un apéndice con las hojas de especificaciones técnicas de los componentes utilizados en el diseño del sistema.

GENERALIDADES

En este apartado se describirá brevemente la operación del aparato circulatorio humano, se mencionarán algunas de sus patologías, la necesidad y ventajas del uso de un equipo de circulación extracorpórea para llevar a cabo cirugías de corazón abierto. Adicionalmente se hará una semblanza de la evolución del sistema de circulación extracorpórea.

Todos los seres vivos que habitan el planeta tierra están integrados por sistemas fisiológicos que componen su cuerpo y desarrollan una función determinada, dentro de estos sistemas se consideran los sistemas: digestivo, circulatorio, nervioso, respiratorio, etc.

Cada uno de estos sistemas son dependientes unos de otros, el mal funcionamiento de uno repercute en el mal funcionamiento de los otros, por ello es de vital importancia la correcta operación de éstos.

El sistema digestivo es el medio por el cual se adquieren los nutrientes para la operación de cuerpo. El sistema nervioso lleva a cabo la función de control del cuerpo, dentro de este sistema existen dos tipos de funciones, las que se llevan a cabo en forma inconsciente por el individuo, y aquellas que son voluntarias. En el caso del sistema respiratorio, el oxígeno del ambiente se introduce en el cuerpo y es intercambiado por bióxido de carbono, que contiene la sangre, llevándose a cabo esta función en los pulmones. Y el sistema circulatorio, es el sistema que se encarga de llevar los nutrientes y oxígeno por el torrente sanguíneo a todas las partes del cuerpo.

El sistema circulatorio está formado por el corazón, arterias, venas y capilares del cuerpo como se muestra en la figura 1.1. Adicionalmente está muy interrelacionado con el pulmón, ya que la función de intercambiar CO₂ por oxígeno en la sangre se lleva a cabo dentro de éste. El corazón, que equivale a una bomba que impulsa la sangre a través de la arteria aorta y de ahí se distribuye y ramifica en arterias menores, irriga todas las células del organismo (sangre arterial) regresando por vasos capilares hacia venas mayores hasta unirse en la vena carótida para ingresar al corazón (sangre venosa). Este último impulsa esta sangre hacia los pulmones, donde se lleva a cabo el intercambio gaseoso de bióxido de carbono por oxígeno, y es devuelta esta sangre hacia el corazón para iniciar de nuevo el ciclo.

1.1 PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA CARDIACA

El sistema circulatorio se considera como un circuito cerrado en el cual circula sangre hacia todo el organismo, la sangre pasa del corazón a las arterias (sangre arterial) las cuales se ramifican y disminuyen su diámetro para penetrar en los diferentes órganos a través de capilares. A partir de los capilares se originan las venas que transportan la sangre de la periferia hacia el corazón para ser oxigenada (sangre venosa).

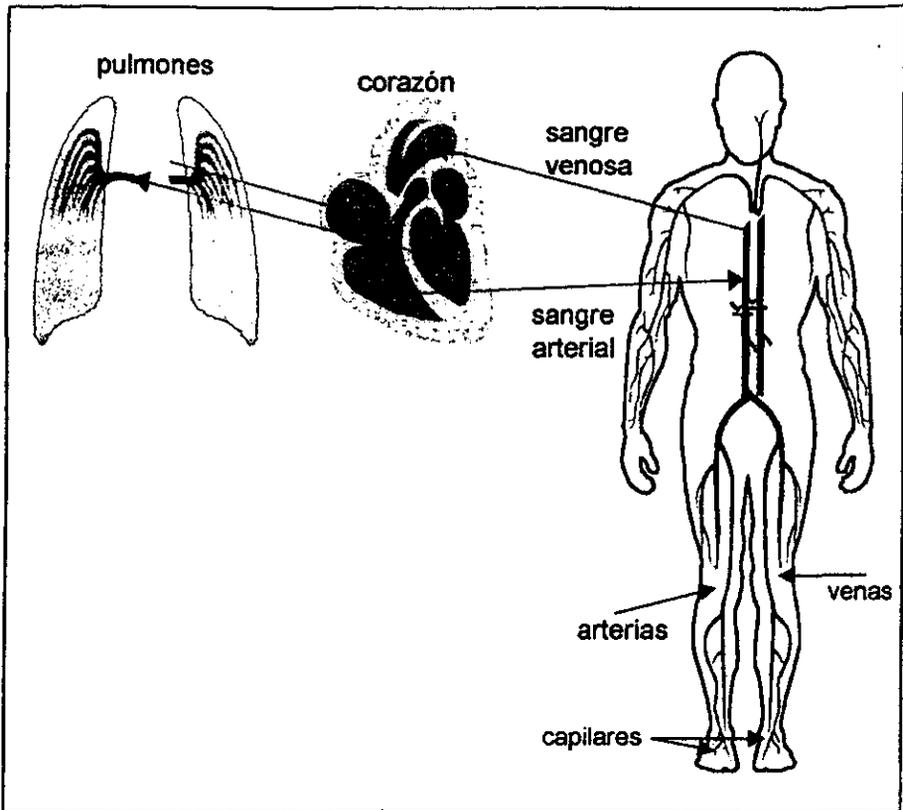


Figura 1.1. Diagrama del sistema circulatorio.

El corazón se encuentra situado en la cavidad torácica entre los pulmones, recubierto por un saco de tejido fibroso y seroso, que permite al corazón contraerse y relajarse con facilidad.

El corazón es un órgano constituido por cuatro cámaras: aurícula derecha, ventrículo derecho, aurícula izquierda y ventrículo izquierdo. Cada aurícula y su correspondiente ventrículo se encuentran comunicados por medio de una válvula (la del lado derecho conocida como válvula tricúspide y la del lado izquierdo

conocida como válvula mitral). Sin embargo, no existe comunicación entre ventrículos (izquierdo y derecho), y aurículas (izquierda y derecha).

Una de las características más importantes del corazón es que tiene su propio sistema de conducción el cual regula la función cardíaca. El sistema de conducción está constituido por un haz de fibras musculares acompañadas de elementos nerviosos que establecen la unión anatómica y funcional entre las aurículas y los ventrículos. Esto permite que el corazón se contraiga y se relaje sincrónicamente determinando la frecuencia cardíaca, es decir, el número de latidos por minuto.

1.2 CIRCULACIÓN GENERAL

Como se mencionó anteriormente, el corazón se considera como dos cámaras independientes conocidas como corazón derecho y corazón izquierdo, cada uno de las cuales cumplen una función distinta dentro del trabajo de circulación. Para poder comprender el funcionamiento sincrónico del corazón hay que considerar que durante el ciclo cardíaco se llevan a cabo procesos de contracción y relajación que permiten el llenado y vaciado de las cámaras cardíacas. Mientras las dos aurículas se encuentran relajadas o en diástole (ver figura 1.2.a), los dos ventrículos se encuentran en contracción o en sístole (ver figura 1.2.b).

El ciclo cardíaco se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) La sangre proveniente de la periferia corporal llega a la aurícula derecha durante la fase de relajación de la misma.
- 2) La sangre contenida en la aurícula derecha es impulsada hacia el ventrículo derecho durante la fase de contracción auricular.

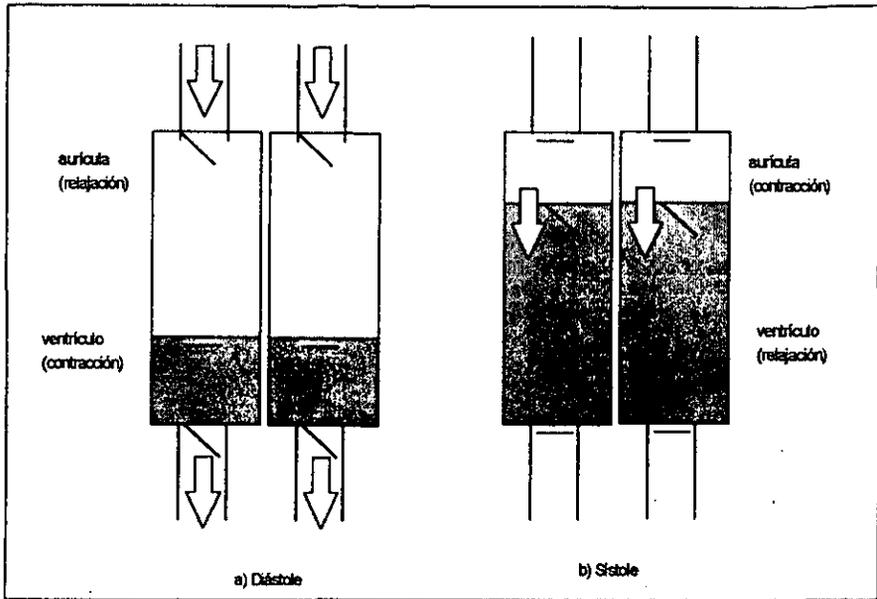


Figura 1.2. Diagrama funcional del proceso diastólico y sistólico del corazón.

- 3) La sangre contenida en el ventrículo derecho es impulsada hacia los pulmones para ser oxigenada.
- 4) La sangre oxigenada proveniente de los pulmones es impulsada hacia la aurícula izquierda, durante la fase de relajación auricular.
- 5) La sangre contenida en la aurícula izquierda es impulsada hacia el ventrículo izquierdo durante la fase de contracción auricular.
- 6) La sangre contenida en el ventrículo izquierdo es impulsada hacia la arteria Aorta para su distribución periférica durante la fase de contracción ventricular.

En resumen, la circulación general se divide en dos partes: circulación sistémica, que comienza en la parte izquierda del corazón (1) (tal y como se observa en la figura 1.3) y lleva la sangre oxigenada a todos los órganos del

cuerpo, y la circulación pulmonar que comienza en la parte derecha del corazón (2) e impulsa la sangre a los pulmones para su oxigenación y la parte izquierda la recibe después de ser oxigenada. En la figura 1.3 se muestra un diagrama ilustrativo de la circulación sistémica y de la circulación pulmonar.

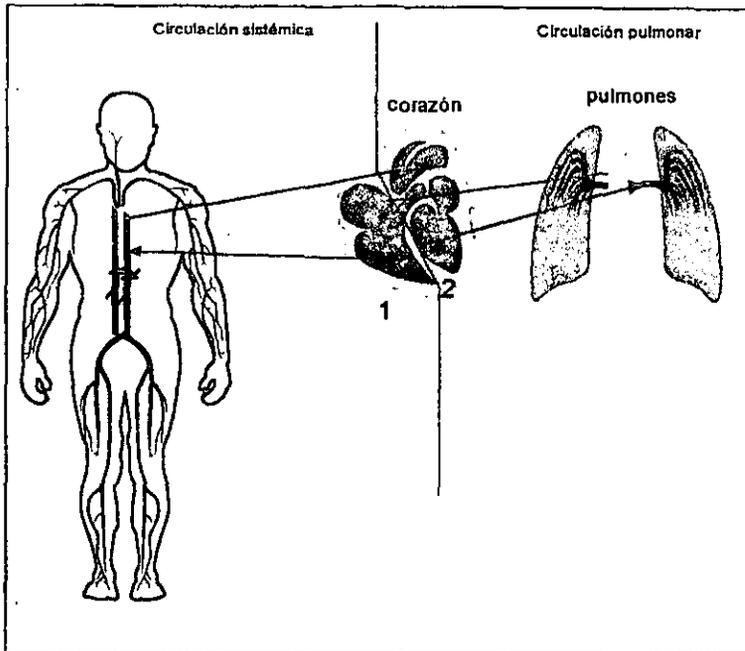


Figura 1.3. Representación esquemática de la circulación sistémica y pulmonar.

1.3 PATOLOGÍAS DEL SISTEMA CIRCULATORIO

Como cualquier otro sistema del cuerpo humano el sistema circulatorio está sujeto a presentar problemas de funcionamiento debido a enfermedades, éstas se pueden dar tanto por factores hereditarios como por factores de edad. Los problemas que se presentan en el sistema circulatorio pueden afectar: a las venas y arterias (arteriosclerosis: endurecimiento de las paredes arteriales por

presencia de lípidos en la sangre que se acumulan hasta bloquear el paso de la sangre), a la sangre (Leucemia: cáncer de la sangre, anemia: desaparición de los glóbulos rojos en el torrente sanguíneo), o en el corazón (Infartos, soplos, daños en las válvulas, etc.). De estas enfermedades se descubrió que algunas de las curas requerían de intervención quirúrgica directamente al corazón, y en algunos casos detenerlo para hacer la reparación y posteriormente hacerlo volver a trabajar. Esto llevó a los precursores de la cirugía a desarrollar métodos que permitieran continuar la circulación sanguínea aún cuando el corazón estuviera parado. Fue entonces cuando surgió la necesidad de desarrollar sistemas para soporte de la circulación y oxigenación externa de la sangre, con objeto de continuar suministrando al individuo esta función (Perfusión).

1.4 HISTORIA DE LA CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA

El concepto de soporte externo de la circulación ha convivido con nosotros en los últimos dos siglos. Al final del siglo XVIII, los fisiólogos sugerían que la función de sistemas como el nervioso y muscular podía ser restablecida después de la muerte. Le Gallois demuestra este concepto al irrigar (perfundir) órganos con sangre y restablecer sus funciones. A mediados del siglo XIX Brown-Sequard empleando su propia sangre perfunde un miembro aislado de un animal y esto le permite restablecer sus reflejos.

La escuela de fisiología de Ludwing postulaba el concepto de que la función de un órgano aislado podía continuar si era perfundido en forma artificial. Starling utiliza esta idea en corazones de mamíferos para estudios de autorregulación cardíaca. Brukhonenko en 1920 establece que la vitalidad del cuerpo puede ser mantenido después de retirar el corazón al ser perfundido en forma artificial.

Muchos métodos de oxigenación se han creado en el último siglo, desde la oxigenación directa de la sangre, generación química de oxígeno, hasta llegar al oxigenador de burbuja y más recientemente el de membrana y fibra hueca.

En 1885 Frey y Grubber desarrollaron un método de oxigenación al burbujear oxígeno en sangre venosa consiguiendo que ésta se oxigenara, utilizando para ello un cilindro metálico hueco en el que formaban una película de sangre y que posteriormente se exponía a oxígeno en forma directa, creando con esto el concepto de máquina corazón-pulmón y en 1895 Jacob utiliza el pulmón de un animal como oxigenador.

Ya en nuestro siglo tenemos a Kolf, pionero en la hemodiálisis, que en 1944 crea el riñón artificial y observa que la sangre cambiaba de color al pasar por este aparato, lo que con el tiempo evolucionó en el oxigenador de fibra. Los oxigenadores fueron de diferentes tipos como el de Discos Rotatorios inventado por Craford y Anderson en Suecia en 1948. Estos equipos fueron utilizados en forma experimental de manera exitosa y los primeros en ser utilizados en forma clínica fueron descritos por Lillehei y Varco en 1955 en la Universidad de Minnesota, utilizándose en infantes y escolares, a base de una bomba de rodillos para impulsar la sangre y como oxigenador a un adulto, generalmente, uno de los padres (Circulación Cruzada). Al ejecutar cirugías se observó que la sangre se coagulaba al ser utilizada para mantener la circulación, por lo que se intentaron varios métodos para impedirlo, algunos de ellos era la agitación, pero no es sino hasta el descubrimiento del anticoagulante (la heparina) por McLean que esto se logra en forma efectiva.

La obtención del desarrollo de una bomba que permitiera y sostuviera la circulación externa fue más difícil. A medida que se solucionaban algunas de estas interrogantes se presentaban otras. Una de ellas, la más importante, era la de contaminación con residuos y bacterias (sepsis) además de la presencia de material extraño en la circulación que daban lugar a embolias y trombosis por

lo que se vieron en la necesidad de crear métodos de esterilización y filtrado, y por supuesto técnicas profilácticas para evitarlo.

En 1953 Gibbon repara en forma exitosa un defecto interauricular en una mujer joven, manteniendo la circulación por medio de una bomba y un oxigenador, dando paso a la cirugía cardíaca, como es conocida actualmente, usando circulación extracorpórea.

En los primeros días de la circulación extracorpórea cuando los flujos aportados por la perfusión eran frecuentemente más bajos que el gasto de un corazón en reposo, eran frecuentes los problemas de hipoperfusión, para tratar de compensarlos se utilizaron oxigenadores más grandes con mayores flujos para mejorar la transferencia de gases, esto originó mayor cantidad de sangre para su purgado en una forma dramática, lo que significó serios problemas para los bancos de sangre, al no poder sostener la demanda de los requerimientos de la cirugía cardíaca. Sin embargo, esto se empezó a utilizar empleando para este fin soluciones fisiológicas, expansores del plasma o plasma aparte de sangre en una menor cantidad; y para sorpresa de muchos cirujanos escépticos, los pacientes perfundidos de esta forma, no sufrían daño e incluso tenían mejor recuperación que los no diluidos, esto como consecuencia de disminuir la viscosidad de la sangre que durante la hipotermia comprometía en forma importante la perfusión tisular por *étfasis*.

Actualmente, la circulación extracorpórea es utilizada en forma rutinaria en muchos hospitales alrededor del mundo, para la atención de varios males cardíacos, y en ella participan en forma conjunta: Perfusionista, Anestesiólogos, Cirujanos, Enfermeras y personal paramédico, siendo la cooperación estricta de todos y cada uno de ellos la que puede llevar a cabo exitosamente la misma. Esta cirugía no tiene más de 50 años de que se emplea con éxito y mucho se ha hecho para transformar un procedimiento peligroso en uno seguro y normalizado.

Los descubrimientos que permitieron el desarrollo, en forma total, de la circulación extracorpórea son los siguientes: interrupción temporal exitosa del retorno venoso al corazón, identificación del *sistema ABO*, descubrimiento de la heparina, descubrimiento de la protamina, implementación de un equipo que permitiera la oxigenación de la sangre, desarrollo de la bomba de rodillos y el descubrimiento de la correlación entre temperatura y metabolismo. La presencia de daño cerebral irreparable al interrumpir la circulación por un tiempo apreciable, sirvió como incentivo para el mejoramiento de estas técnicas. La segunda guerra mundial frenó momentáneamente estos programas pero al final los favoreció, ya que muchos de los cirujanos se enfrentaron y tuvieron la necesidad de solucionar traumatismos de tórax y corazón en forma eficaz y hábil.

La historia de la circulación extracorpórea no puede estar completa sin considerar el papel de la hipotermia. Ésta se emplea para disminuir el metabolismo y proteger al organismo en forma adecuada por periodos relativamente largos con una recuperación aceptable. Además, las ventajas que proporciona a la cirugía cardíaca son las siguientes:

- 1) La hipotermia es imprescindible para la protección cerebral, cuando se requiere de un periodo de arresto circulatorio como parte del tratamiento de una cardiopatía congénita o adquirida.
- 2) La disminución del flujo que permite la hipotermia, facilita la exposición quirúrgica al reducir el flujo colateral, que inunda el campo operatorio.
- 3) La hipotermia sistémica previene el calentamiento del miocardio y puede contribuir a la protección miocárdica cuando se utiliza en combinación con arresto cardíaco con cardioplegia fría.

4) La hipotermia sistémica durante la circulación extracorpórea provee de un margen de seguridad por un periodo corto de arresto circulatorio durante un accidente.

A un nivel celular el efecto fundamental de la hipotermia es la progresiva reducción del metabolismo. El cual es muy variable dependiendo de ésta, de tal forma que desde -150°C a 4°C el proceso metabólico se encuentra profundamente disminuido y no hay cambios biológicos importantes. A partir de 4°C la actividad biológica aumenta progresivamente hasta ser normal alrededor de 37°C .

La terminología y el equivalente en temperaturas es el siguiente:

Normotermia:	37° a 34°C
Hipotermia leve:	34° a 32°C
Hipotermia moderada:	32° a 28°C
Hipotermia:	28° a 22°C
Hipotermia profunda	22° a 10°C
Con o sin paro cardíaco (arresto circulatorio).	

1.5 FISIOLÓGÍA DE LA CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA

La circulación extracorpórea crea severas condiciones adversas al organismo, lo que trae como consecuencia cambios en la función normal de éste en forma transitoria, algunas de las maneras de prevenir estas situaciones adversas, es el uso de sistemas de protección miocárdica.

El objetivo de la protección miocárdica es facilitar al cirujano el proceso quirúrgico proveyendo condiciones óptimas de operación sin que se dañe el tejido miocárdico. Existen diferentes técnicas de protección de miocardio, entre las que se pueden mencionar el uso de hielo o colchones de enfriamiento alrededor del

corazón, irrigación de miocardio con solución salina fría e incluso por medio de hipotermia sistémica.

El método más común de protección miocárdica es la administración de solución de cardioplegia fría. El efecto de la administración de dicha solución resulta en el llamado "paro cardíaco por cardioplegia". Durante este periodo la tasa metabólica del miocardio se reduce. Esto no significa que se nulifiquen todas las funciones metabólicas por lo que es importante considerar las condiciones necesarias para que esto no afecte el proceso metabólico que se esté generando. Esto se logra mediante la administración de cardioplegia durante el periodo de paro cardíaco (isquemia). La solución administrada permite mantener los niveles de pH y evita que se generen mayores daños a la célula miocárdica. Siempre la elección del método de protección más recomendable depende de la habilidad y experiencia del cirujano, del perfusionista y del anestesiólogo.

1.6 COMPONENTES DEL CIRCUITO EXTRACORPÓREO

Los equipos que se utilizan para la circulación extracorpórea deben de proporcionar características similares a las características que se tienen en una circulación normal en el cuerpo, basándose en esto, un equipo de circulación extracorpórea debe estar integrado por los siguientes elementos que se interconectan con tuberías de diferente calibre.

La unidad de hiper-hipotermia se utiliza para calentar o enfriar al paciente por medio de circulación de agua, según sean las necesidades y con una presión de bombeo no superior a 50 *psi*, que es lo que los equipos desechables de intercambio de temperatura y manejo de sangre nos permiten como máximo, y con rangos de temperatura mínima de 3°C y máxima de 42°C. Adicionalmente esta unidad de hiper-hipotermia debe contar con conexiones para el equipo de cardioplegia y/o colchón térmico.

La unidad oxigenadora es la que sustituye la función pulmonar y efectúa el intercambio gaseoso de bióxido de carbono por oxígeno, aunque no supe las funciones inmunológicas ni farmacológicas, pero debe cubrir los siguientes requisitos: eficiente oxigenación de la hemoglobina desaturada y la eliminación simultánea de bióxido de carbono.

Por lo tanto el oxigenador actuará como un sistema alvéolo capilar, en las siguientes indicaciones: Soporte pulmonar y circulatorio en pacientes sometidos a cirugía de corazón abierto, cirugía de transplante cardiaco, soporte prolongado ECMO (Extracorporeal Circuit Membrane Oxigenator) en pacientes con insuficiencia pulmonar severa reversible por espacio de 2 a 3 semanas, apoyo a órganos aislados para transplante o salvamento de extremidades amputadas, y en oncología para la administración de fármacos muy tóxicos como el melanoma.

La unidad mezcladora nos permite regular la mezcla de aire y oxígeno con una concentración que va del 21% al 100% de oxígeno, a la entrada del oxigenador.

El flujómetro nos permite llevar a cabo la medición del volumen del fluido de gas al oxigenador. En la figura 1.4 se muestra un sistema base para proporcionar una perfusión y la interacción de sus componentes.

Parte medular de un sistema de circulación extracorpórea es la bomba que se utiliza para bombear la sangre y que a través de los años ha evolucionado, así tenemos que las primeras bombas utilizadas para impulsar la sangre fueron simples balones de hule; los cuales posteriormente evolucionaron, como la presentada en 1895 por Jacob, donde utilizaba una vejiga de hule la cual era comprimida en forma excéntrica por un motor. Se utilizaron también bombas de pistón y en 1934 De Bakey presentó la bomba de rodillos.

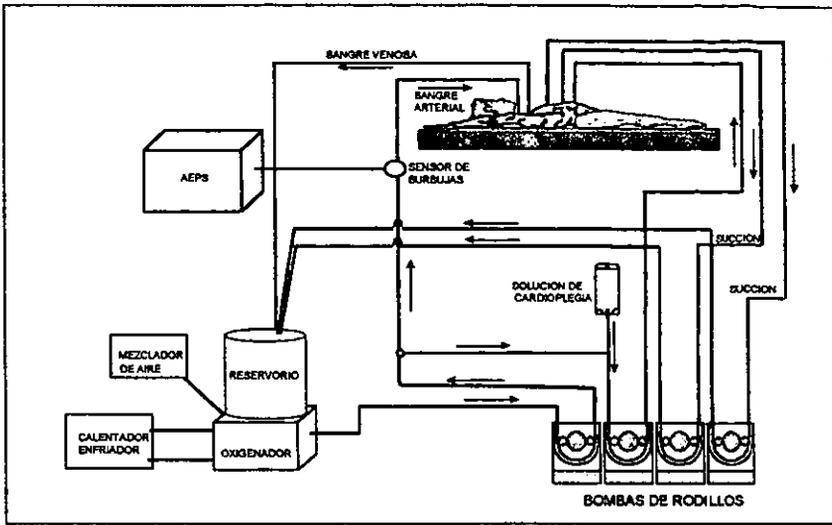


Figura 1.4. Circuito de perfusión moderna.

Actualmente la bomba de rodillos es el tipo más empleado en los sistemas de perfusión, los cuales normalmente se integran con cuatro piezas de éstas. Las bombas de rodillos tienen la característica de ser independientes y constan de una camisa de acero semicircular y un rotor con dos rodillos equidistantes, los cuales van a comprimir al tubo contra la camisa proporcionando un flujo unidireccional, donde al menos uno de los rodillos siempre va a comprimir al tubo, como se muestra en la figura 1.5.

La bomba de rodillos tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de ser traumática, debido a las fuerzas que se crean al comprimir en forma constante la sangre en un tubo estrecho, contra una camisa de acero, y que al ser oclusiva destruye glóbulos rojos produciendo hemólisis.

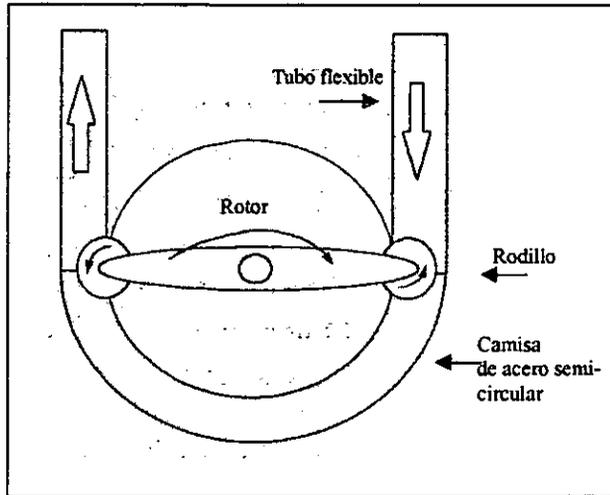


Figura 1.5. Diagrama esquemático de una bomba de rodillos.

Entre los primeros sistemas de perfusión comerciales surgidos a mediados de los años 60's tenemos a SARNS, con su "bomba de circulación extracorpórea SARNS 2000", la cual estaba construida en forma de consola y en la cual se tenían 5 cabezales de rodillos sobre los que se podía hacer variar su velocidad. No se disponía en el equipo de alguna forma de saber cuál era la velocidad, ya que la perilla de control de velocidad sólo estaba graduada por posiciones del 1 al 9, sin saber a qué velocidad correspondía cada división y/o las posiciones intermedias, por lo que el perfusionista, auxiliado por personal técnico del hospital, debía determinar en forma experimental qué flujo en *l.p.m.* tenía para cada posición de la perilla y para cada tipo de cabezal. Algunos sistemas SARNS 2000 incluían tanto el cabezal económico como el de lujo, contaban con 2 canales de presión analógicos, 4 canales de temperatura también analógicos, dos sensores para nivel de sangre en el reservorio, un sistema para mezclar agua fría con caliente, consistente en una llave mezcladora y un termómetro, un sistema para controlar el motor del oxigenador de discos, 2 cronómetros mecánicos y una lámpara de "cuello de ganso", la cual utilizaba un foco normal.

Aproximadamente 4 años después de salir la SARNS 2000 surge la SARNS-TRAVENOL, la cual opta por un diseño modular e incluye un sistema de medición de las revoluciones para el cabezal en forma analógica, pero sólo manejaba un rango de 0 a 100 *r.p.m.*

En 1978 surge el sistema SARNS 5000 el cual volvió a ser en forma de consola muy similar al SARNS 2000 pero incluía un tacómetro digital con un rango de 0 a 300 *r.p.m.* para cada cabezal de rodillos.

Por esas fechas surge el sistema GAMBRO, muy similar al SARNS 5000 pero las revoluciones se leían en forma analógica con diodos emisores de luz en fila sobre una escala graduada.

A principios de los 80's surge el sistema COBE-STOKERT, el cual, atendiendo a las demandas del mercado, optó por una forma modular en la cual los cabezales podían intercambiar de posición, presentaba un sistema de protección ultrasónico contra burbujas de aire, el cual detenía el cabezal arterial cuando detectaba burbujas de aire en la sangre, un sensor de nivel de sangre en el reservorio, un sistema para proporcionar flujo pulsátil y/o continuo.

Este sistema tenía la opción de desplegar las *r.p.m.* o el flujo en *l.p.m.* en cinco displays de 7 segmentos, lo que representó un gran avance.

Los sistemas actuales han seguido el camino indicado por el sistema COBE-STOCKERT y hoy en día, COBE presenta su sistema CENTURY, como se muestra en la figura 1.6, el cual ya emplea una electrónica basada en el microprocesador MC68HC16 e incluye un sistema para control computarizado de la perfusión (CPC) o un sistema de protección contra embolias en conjunción con un equipo que permite ver valores de temperatura y que logra establecer rangos

de tiempo por medio de temporizadores (CHRONOTERM), con los que se tiene protección contra embolias gaseosas, cronómetros, 6 canales de temperatura y flujo pulsátil o continuo dependiendo de la opción que se prefiera, un equipo para realizar la mezcla de aire con oxígeno y una lámpara de cuello de ganso con foco de halógeno.

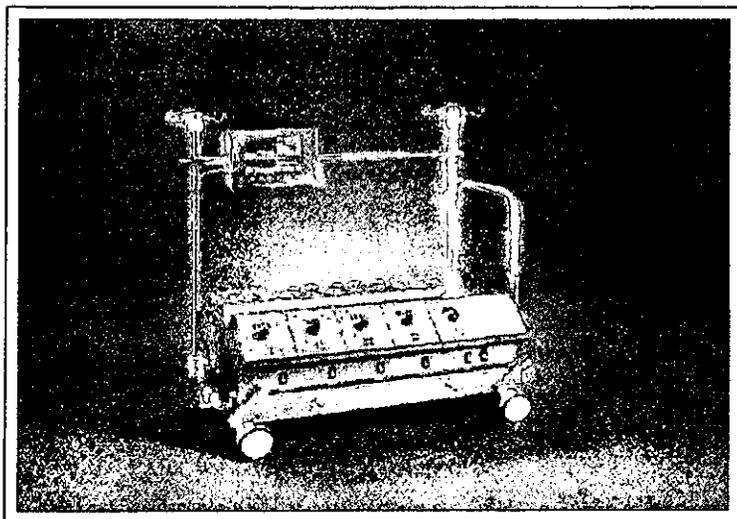


Figura 1.6. Sistema de perfusión COBE modelo Century.

Una vez que se han revisado los antecedentes de la cirugía extracorpórea, en el siguiente capítulo se procederá a la presentación y determinar los alcances del sistema de circulación extracorpórea propuesto.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se hará un análisis de la arquitectura del sistema y la descripción de cada uno de los elementos que lo integran, así como su funcionamiento, completando éste con los alcances del proyecto y dar los principios básicos de algunos tópicos que se abordarán en el presente trabajo.

2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema de perfusión está integrado por varias secciones que interactúan, para llevar a cabo el bombeo y oxigenación de la sangre por medios externos cuando una cirugía requiere sacar de operación al corazón.

El funcionamiento del Sistema de Perfusión consiste en recircular la sangre utilizando diversos componentes, como se observa en la figura 2.1, que nos muestra un diagrama a bloques del sistema de perfusión.

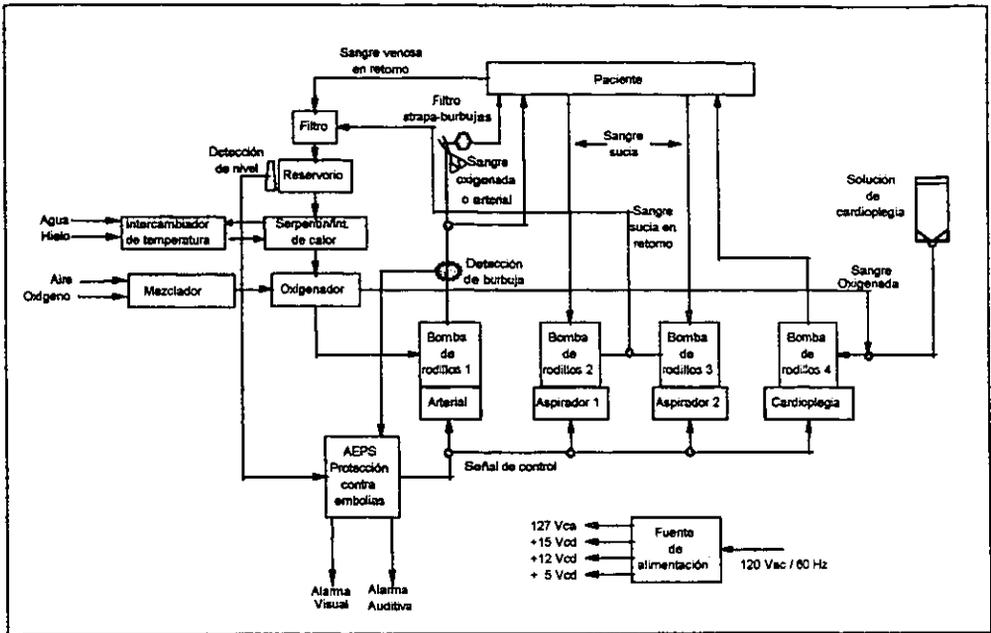


Figura 2.1. Arquitectura del sistema de perfusión.

De la figura 2.1 podemos observar que los principales componentes que conforman el Sistema de Perfusión son:

Reservorio

- Filtro
- Intercambiador de calor
- Oxigenador

Mezclador

Intercambiador de temperatura

4 Bomba de rodillos

Solución de cardioplegia

Sistema de Protección contra embolias AEPS

- Detector de bajo nivel
- Detector de burbuja de aire

Fuente de alimentación eléctrica.

A continuación se hará una breve descripción de los componentes que integran un sistema de perfusión.

Inicialmente, la sangre venosa del paciente es extraída por medio de un catéter de la vena Cava, de ahí la sangre venosa cae por gravedad en el filtro que se encuentra en el reservorio, en el filtro se retienen las partículas grandes (impurezas o coágulos), pasando de ahí a la parte inferior o reservorio, en donde se acumula un volumen del flujo sanguíneo determinado, el cual es monitoreado por un sensor de nivel. Adicionalmente, este reservorio cuenta con un serpentín intercambiador de calor. Este volumen de sangre pasa por el oxigenador, que se conforma de una membrana donde la sangre es expuesta al contacto con la mezcla de aire oxígeno, proveniente del mezclador, eliminando el bióxido de carbono y enriqueciendo la sangre con oxígeno.

Después de pasar la sangre por el oxigenador, ésta es absorbida por la succión de la bomba de rodillos número 1, la cual es utilizada como bomba arterial, y la descarga es monitoreada por un sensor de burbuja. Esta bomba impulsa la sangre oxigenada hacia el cuerpo del paciente, direccionándola hacia la arteria Aorta por medio de un catéter. En la trayectoria del flujo de la sangre arterial, desde la bomba número 1 hacia el paciente, se encuentra una derivación que cuenta con un filtro atrapa burbujas de aire, el cual permite eliminarlas sin interrumpir significativamente el flujo de sangre al paciente. En condiciones normales esta línea se encuentra bloqueada y el flujo de sangre arterial llega al paciente por la línea ubicada a la derecha del filtro atrapa burbujas como se ilustra en la figura 2.1. En caso de detectar alguna burbuja de aire, el perfusionista pinzará la línea de sangre arterial normal y abrirá la línea donde se ubica el filtro atrapa burbujas para evitar el paso de la burbuja de aire al paciente. Una vez que se ha eliminado este riesgo, el perfusionista volverá a bloquear la línea del filtro atrapa burbujas y liberará la del flujo de sangre arterial normal, restableciendo de esta forma la operación del sistema.

El sistema de perfusión cuenta con otras dos bombas de rodillos: la número 2 y 3, las cuales se designan como aspiradores durante la cirugía, y que permiten la extracción de la sangre (sucia) que invade el campo operatorio. Esta sangre es enviada al filtro, reintegrando ésta al ciclo de perfusión descrito previamente.

Otra parte que integra el sistema de perfusión, es la bomba de rodillos número 4, asignada como bomba de cardioplegia, la cual se encarga de impulsar la mezcla de cardioplegia sanguínea, compuesta por la solución de cardioplegia y la sangre oxigenada proveniente del oxigenador, utilizándose para provocar el paro cardíaco (cardioplegia) y proteger al corazón o miocardio.

La operación del equipo de perfusión requiere que la unidad cuente con un equipo intercambiador de temperatura, el cual tiene la función de hacer circular agua a una temperatura deseada al intercambiador de calor y , además, contar con el Sistema de Protección contra Embolia de Aire AEPS (Air Emboly Protection System) que se encarga de detectar burbujas de aire en el flujo de sangre arterial o bajo volumen de sangre en el reservorio, para enviar señales de alarma visual y auditiva al perfusionista y detener el flujo de la bomba arterial, permitiendo que el perfusionista opere en forma manual la bomba arterial y de esta manera eliminar la burbuja de aire y continuar con el flujo sanguíneo hacia el paciente.

También integra el sistema de perfusión un equipo mezclador, el cual tiene la función de combinar el aire con el oxígeno en proporciones determinadas por el perfusionista, y la salida de esta mezcla se ingresa al oxigenador.

Todos los módulos que integran el sistema de perfusión son alimentados eléctricamente por los voltajes requeridos y los cuales están representados, en forma simplificada, por el módulo de fuente de alimentación.

2.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA DE PERFUSIÓN

Filtro: Este dispositivo tiene como función retener todas las impurezas, como son: coágulos, huesillos, cabellos, etc., del flujo de sangre venosa en retorno del paciente o de las bombas de aspiración. Este filtro es desechable y es un elemento integral del reservorio.

Reservorio: Es un contenedor en donde se deposita la sangre venosa que sale del paciente siendo su capacidad aproximadamente de 3 lts., dependiendo de la complejidad del paciente, y se encuentra en el mercado disponible como un producto desechable. Normalmente, el reservorio tiene en su entrada el filtro de sangre, en su parte interior cuenta con un intercambiador de calor y a su salida cuenta con un oxigenador.

Serpentín Intercambiador de calor: es un serpentín de unas 4 vueltas que se encuentra integrado internamente en el reservorio y tiene la función de transferir la energía calorífica del agua que fluye en su interior hacia la sangre que se encuentra en el reservorio. Este serpentín cuenta con conexiones para conectar las mangueras de circulación de agua que proviene del intercambiador de temperatura.

Oxigenador: es una membrana permeable que lleva a cabo el intercambio de gases en la sangre, adicionando aire enriquecido con oxígeno y liberando el bióxido de carbono de ésta. Esta parte se encuentra integrada a la salida del reservorio, y adicionalmente, para su operación éste requiere de un mezclador de gases.

Mezclador: es un dispositivo que lleva a cabo la combinación de aire y oxígeno en cantidades proporcionales, previamente seleccionadas, para poder ser suministradas al oxigenador.

Bomba de rodillos: La bomba de rodillos es una máquina que consta de un rotor impulsor con dos o más rodillos a sus extremos, los cuales ocluyen una manguera flexible que se encuentra en la guía especial y que al girar, impulsan el volumen de fluido contenido, entre éstos. Para su operación, esta bomba cuenta con un motor de corriente directa, el cual permite llevar a cabo el control preciso de la velocidad del rotor. Este equipo, utiliza mangueras flexibles, y permite manejar la sangre con asepsia al utilizar mangueras estériles y desechables.

Detector de burbuja: Es un sensor capacitivo el cual ubica la presencia de burbujas de aire en el flujo de sangre en las mangueras que interconectan la bomba arterial con el paciente. La señal de este sensor se envía al AEPS.

Detector de nivel: Es un sensor capacitivo similar al detector de burbujas el cual se encuentra integrado en el reservorio, y emite una señal que es enviada al AEPS, cuando el nivel de sangre baja por debajo del nivel mínimo establecido.

AEPS: Es el sistema de protección contra embolia de aire, el cual al recibir la señal del detector de burbujas, envía una señal de paro a la bomba arterial, emitiendo a su vez una señal auditiva y visual para alertar al perfusionista de la presencia de esta burbuja, y permitiendo así a éste desviar el flujo de sangre arterial a través del filtro atrapa-burbujas y con ello evitar el paso de ésta al torrente sanguíneo del paciente. Adicionalmente, el AEPS también recibe la señal de bajo nivel de sangre del reservorio, emitiendo la misma señal de paro a la bomba arterial y emitiendo su alarma correspondiente.

Solución de cardioplegia: Es un fármaco, que mezclado con sangre es utilizado para ocasionar el paro cardiaco en el paciente en el momento que se desea, irrigando esta mezcla en la cavidad torácica.

Aspiradores: Son bombas de rodillos que succionan la sangre que queda en la cavidad torácica abierta durante la cirugía, la cual puede estar contaminada por pedazos de hueso, cabello y fibras de ropa, enviándola al reservorio y una vez limpiada y oxigenada puede ser regresada al paciente.

Bomba de cardioplegia: Es una bomba de rodillos que impulsa dos soluciones simultáneamente cada una por su respectiva manguera en un mismo cabezal de rodillos y que sirve para dosificar la cantidad de mezcla de cardioplegia sanguínea que se envía al paciente.

2.3 ALCANCES DEL PROYECTO

Se va a diseñar e integrar un sistema de perfusión para circulación extracorpórea. El sistema estará integrado por 4 bombas de rodillos, un sistema de protección contra embolias de aire, un sensor de burbuja, un detector de bajo nivel, un intercambiador de temperatura, un reservorio, un oxigenador, un mezclador de aire-oxígeno, y sus respectivas fuentes de alimentación eléctrica.

El reservorio y el filtro, se seleccionarán e integrarán a nuestro proyecto, ya que éstos son desechables. También, los accesorios como son las mangueras de interconexión, bolsa de solución de cardioplegia, y los catéteres utilizados, son desechables. Adicionalmente, se diseñará un sistema de protección contra embolias, compuesto por un sensor de burbuja, el sensor de bajo nivel y su control. Se llevará a cabo el diseño de los sistemas de control de las bombas de rodillos, el intercambiador de temperatura con su control, y los controles en general.

Para la bomba de rodillos se diseñará un circuito de control de velocidad para un rango de 0 a 255 *r.p.m.*, con indicadores de siete segmentos para mostrar el valor de las revoluciones de operación del motor; el flujo que se está moviendo desde la bomba en *l.p.m.* para los diferentes calibres de tubería en uso, un control

de dirección de giro, así como un potenciómetro para ajustar la velocidad del motor a un valor de revoluciones determinado.

El controlador de la bomba de rodillos tendrá un interruptor de sentido de giro, una perilla con la que se seleccionará la velocidad o el flujo deseado, poseerá una pantalla con indicadores de siete elementos en el que se podrán leer tanto los *r.p.m.* como los litros por minuto, una tecla para seleccionar *l.p.m.* o *r.p.m.*, una tecla para seleccionar el diámetro de la tubería, pudiendo ésta última ser de 1/4", 3/8", 1/2" ó 5/8". Además se incluirán: una tecla de paro y otra de arranque, teclas para seleccionar la dirección de giro de los rodillos y una para cambio de sentido de la rotación.

La bomba de rodillos tendrá la opción de operación manual cuando ésta sea desactivada por la presencia de una burbuja en la línea o bajo nivel de sangre en el reservorio y será a criterio del perfusionista la reactivación de ésta.

La bomba de rodillos es el elemento mecánico de mayor importancia, es ésta quien proporcionará un flujo de sangre del y hacia el paciente, la dirección del flujo bombeado dependerá de la asignación que se le dé a la bomba dentro del sistema. El diseño de esta bomba y sus unidades de control se hará basándonos en el concepto de modularidad, lo cual nos permitirá intercambiar el uso de las bombas dentro del sistema de perfusión.

Se utilizará un control digital para el Intercambiador de Temperatura, la medición estará dada en grados centígrados, en decenas y unidades, y contará con indicadores de siete segmentos para mostrarla; monitoreará las temperaturas que existan en: el recipiente de agua caliente, el recipiente de agua fría y la temperatura del paciente. Se incluirán en el diseño tres protecciones contra sobrettemperatura, dos incluidas en el programa de control y una que actuará directamente sobre la alimentación general del sistema. El controlador tendrá un rango de operación de temperatura que oscilará desde 25°C a 42°C para el

recipiente de agua caliente y únicamente se mostrará la temperatura del recipiente del agua fría que estará en un rango de 3°C a 31°C. El rango de temperatura del paciente será desde 3°C a 42°C. La presión relativa de salida del agua será de 50 *psi*.

El sistema de protección contra embolias de aire empleará sensores comercialmente disponibles para detectar burbujas de aire dentro de la tubería de la circulación extracorpórea así como detectar bajo nivel de sangre en el reservorio. Una vez detectada una burbuja de aire o bajo nivel de sangre en el reservorio, el AEPS desactivará la bomba arterial y así se detendrá el flujo sanguíneo hacia el paciente. Para estos sensores se hará un estudio de las características que se deben cumplir y se dará una recomendación de los más apropiados para este proyecto.

El mezclador de Aire-Oxígeno deberá ser capaz de mezclar estos elementos en la proporción que el usuario desee. Existen varios tipos y marcas en el mercado, por lo que sólo se sugerirá uno basado en las características requeridas.

Para el oxigenador se hará una recomendación del más apropiado.

Las fuentes de alimentación necesarias tomarán 127 VCA a 60Hz de la línea comercial y los convertirán en 3 niveles de voltaje directo: +24VDC para la alimentación de motores; +12VDC para la alimentación de amplificadores operacionales, y +5VDC para los sistemas de control digital. Esas tres salidas a su vez estarán reguladas de manera independiente una de otra. Los motores serán protegidos con fusibles de disparo lento mientras que los otros dos niveles +12VDC y +5VDC serán protegidos con fusibles de disparo rápido.

2.4 CONCEPTOS BÁSICOS

Dentro de este apartado se hace una breve descripción de los conceptos básicos de electrónica, que se requiere conocer para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

Transductores: Los transductores se definen en general como los dispositivos que transforman una señal de interés en una señal que pueda ser manejada o controlada (principalmente eléctrica, electrónica o neumática). Otra definición establece que "un transductor es un dispositivo que actuando por energía en un sistema de transmisión, suministra energía en otra forma a un segundo sistema de transmisión". Esta transmisión se realiza utilizando un elemento sensor cuyo propósito es detectar y responder a cambios en la magnitud de la variable. Existen diferentes tipos de señales las cuales se pueden clasificar como: eléctricas, mecánicas, ópticas (radiantes), térmicas, magnéticas y moleculares (químicas). Cualquier dispositivo que convierta una señal de entrada a otro tipo de señal a su salida debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física, pero es preferible que la señal de salida sea una variable eléctrica. En cuanto a los dispositivos que manejan señales térmicas se encuentran los transductores de temperatura, que son de alta aplicación en el campo de la medicina.

Temperatura

Para la mayoría de la gente la temperatura es un concepto intuitivo que indica cuándo un cuerpo está caliente o frío. De acuerdo a la teoría de la termodinámica, la temperatura se relaciona con el calor, ya que se sabe que éste únicamente fluye de niveles de alta temperatura a los de baja temperatura. Por otra parte, la teoría cinética de los gases demuestra que la temperatura está relacionada con la energía cinética de las moléculas. De cualesquiera de estas dos teorías se han creado muy diversos y variados elementos que nos ayudan a

conocer con exactitud la temperatura a la cual, por ejemplo, el agua pasa de un estado a otro. Estos elementos normalmente se conocen como transductores de temperatura.

Transductores de Temperatura: Una clasificación de los transductores que se emplean para la medición de la temperatura se observa en la figura 2.2, de donde destacan los siguientes:

- Efecto termoeléctrico (termopares)
- Efecto piezoeléctrico
- Variación resistiva
- Radiación (pirómetros)
- Variación del coeficiente de reflexión.

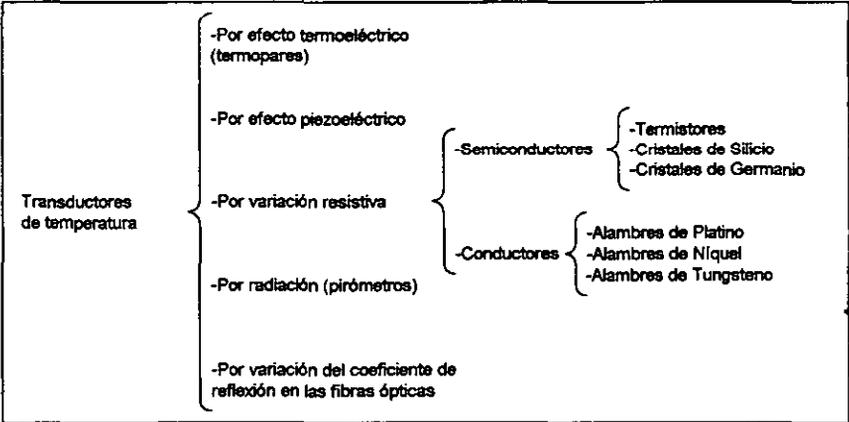


Figura 2.2. Clasificación de los transductores de temperatura.

Dentro de esta clasificación definiremos a los transductores por variación resistiva y principalmente a los termistores, ya que dadas sus características se utilizarán en nuestro proyecto.

Transductores por variación resistiva: Se aprovecha la variación de la resistencia eléctrica de un material cuando se tienen variaciones de temperatura. Con este tipo de transductores se obtienen señales eléctricas que pueden procesarse fácilmente. Se logra una gran exactitud en los procesos de medición.

Termistores: Son dispositivos semiconductores con resistencia variable con la temperatura. Están basados en la dependencia de los semiconductores con la temperatura. Al aumentar la temperatura lo hace también el número de portadores reduciéndose la resistencia con coeficiente de temperatura negativo (NTC). Esta dependencia varía con la presencia de impurezas y si el dopado es muy intenso, el semiconductor adquiere propiedades metálicas con coeficiente de temperatura positivo (PTC) en un margen de temperatura limitado.

Generalmente se construyen a base de mezclar y sintetizar óxidos dopados de metales como níquel, manganeso, cobalto, cobre, hierro y uranio. Se encapsulan en vidrio, cerámica o metal, en formas de discos o barras. Presenta un comportamiento de variación resistiva con la temperatura de forma exponencial. En la figura 2.3 se muestra el comportamiento característico de un termistor.

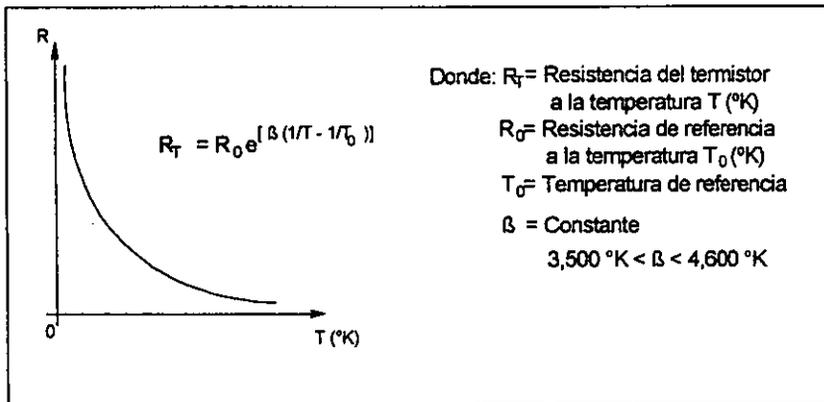


Figura 2.3. Curva característica de un termistor.

El termistor es un dispositivo extremadamente sensible. Por medio de una adecuada linealización se puede obtener una precisión de medición de aproximadamente $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$.

El termistor se utiliza para medir temperatura en el rango de -75°C a $+250^{\circ}\text{C}$, por su sensibilidad el termistor se aplica en: biomédica, aeronáutica, ciencias marinas y ciencias atmosféricas.

Detectores de nivel y de burbuja

Detector de nivel: Es un dispositivo capaz de indicar cuando el nivel de un fluido sobrepasa el máximo permisible o en su caso indicar cuando el fluido está en su nivel mínimo requerido y se emplea por lo general para controlar el arranque y paro de bombas o en su caso activar alarmas. Los principales tipos de estos sensores son: ultrasónico, *capacitivo*, tipo flotador, etc. Para nuestro proyecto indicaremos las propiedades de los ultrasónicos y *capacitivos* cuyas propiedades los hacen ideales para el manejo de sangre al no estar en contacto con ella.

Bombas

En general una bomba es un dispositivo que al aplicarle una fuerza mecánica es capaz de impulsar un fluido de un lugar a otro. Existen diversos tipos de bombas y en forma general se pueden clasificar de acuerdo a su principio de operación como: bombas dinámicas (centrífugas, axiales, cavidad progresiva) y las bombas de desplazamiento positivo (reciprocantes, rotatorias, de émbolo, de diafragma).

Las bombas dinámicas se utilizan para mover flujos grandes con bajas cargas y las bombas de desplazamiento positivo cuando se mueven pequeños gastos a alta presión, de igual manera se tienen bombas que se utilizan para

gastos intermedios como las de pozo profundo. Existe también otro tipo de bombas para fluidos viscosos, como las de engranes o las de lóbulos.

La bomba centrífuga es del tipo no oclusivo en la cual el flujo se logra mediante la transferencia de energía cinética a través de fuerza centrífuga. La salida de la bomba se controla mediante la velocidad de rotación del impulsor central.

En la bomba de rodillos éstos giran ocluyendo la sección de tubería que se encuentra colocada en el cabezal, el fluido no está en contacto con los rodillos, solo con la tubería, por lo que no se contamina.

Convertidores Analógico/Digital

Los convertidores analógicos / digitales son dispositivos electrónicos utilizados ampliamente y se utilizan precisamente como su nombre lo define para llevar a cabo conversiones de una señal eléctrica analógica a una de tipo digital. Entre los métodos de conversión A/D tenemos los siguientes:

Convertidor simultáneo: Está construido utilizando circuitos comparadores, con diferentes niveles de voltaje de referencia. La ventaja de este sistema es su simplicidad y velocidad de operación, pero sólo es costeable para resoluciones bajas, para resoluciones mayores se necesitarían gran cantidad de comparadores que el sistema se convertiría voluminoso y muy costoso.

Conversión por el método de la pendiente: El voltaje analógico a medir es conectado a un comparador, y se utiliza un convertidor D/A (DAC) conectado a un contador, obteniendo a la salida del DAC una señal en forma de rampa la cual se compara con el voltaje analógico y en el momento de ser iguales, la conversión termina y el valor del contador es nuestra salida digital.

Convertidor de aproximaciones sucesivas: Compara la entrada analógica con un voltaje de referencia de un convertidor digital analógico (DAC) que está dividiendo repetidamente por dos. Puede manejar señales continuas y discontinuas con resoluciones grandes y pequeñas a una velocidad moderada y bajo costo.

El método de aproximaciones sucesivas requiere un registro de control especial para llevar los pulsos al primer *bit*, después al segundo *bit*, etc., un DAC con fuente de referencia, un comparador y un registro de distribución como puede apreciarse en la figura 2.4.

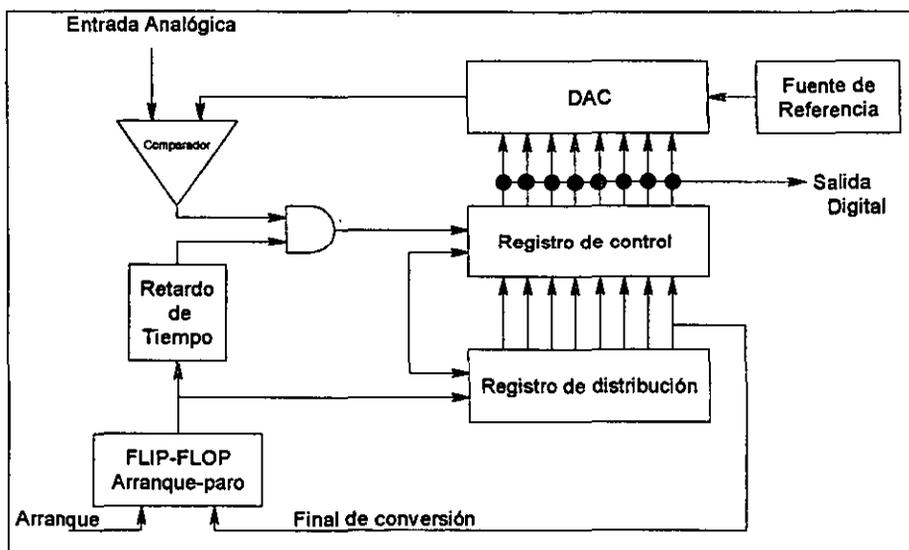


Figura 2.4. Diagrama a bloques del método de aproximaciones sucesivas.

Al comienzo del ciclo de conversión, tanto el registro de control como el registro de distribución se ajustan a 1 en el *bit* más significativo y en 0 en todos los demás *bits*. El registro de distribución por lo tanto registra que el ciclo se ha comenzado y que el proceso se halla en su primera fase. El registro de control, el cual ahora lee 100. . . , causa un voltaje de salida en el DAC de un medio de la

fuente de referencia. En el mismo instante, un pulso entra a la cadena de retardo de tiempo. El tiempo que el DAC y el comparador se han ajustado, este pulso retardado se lleva a la compuerta con la salida del comparador. Cuando el próximo *bit* más significativo se ajusta en el registro de control por medio de la acción de la cadena de tiempo, el *bit* más significativo 0 permanece en el estado 1 o se reajusta al estado 0, dependiendo de la salida del comparador. El 1 simple en el registro de distribución se traslada a la próxima posición y conserva un registro del número de comparaciones hechas. Este proceso se repite hasta que la aproximación final ha sido correcta y el registro de distribución indica el final de la conversión. No se requiere sincronización en este sistema porque el comparador controla únicamente un *flip-flop* a la vez.

Dispositivos de Estado Sólido

Los dispositivos de estado sólido son ampliamente usados en todo tipo de diseño electrónico y dentro de éstos destacan los diodos, transistores, tiristores, triacs, etc.; y los podemos clasificar de acuerdo a sus características en diferentes categorías como:

- 1) Diodos (*Zener, Led, etc.*)
- 2) Transistores de unión bipolar (*BJT Bipolar Junction Transistor*), de efecto de campo *MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field- Effect Transistor)*, etc.
- 3) Tiristores.
- 4) *Triacs*.

Diodo: En general, un diodo conduce cuando se polariza en forma directa. Esto es cuando el voltaje en el ánodo es mayor al del cátodo y este voltaje excede al voltaje de umbral del diodo. En estas condiciones, la caída de tensión directa entre ambos elementos del diodo es muy baja y oscila entre 0.5 y 1.2 V dependiendo de las características de los componentes utilizados para la fabricación del diodo. Si el voltaje del cátodo es mayor respecto al voltaje del

ánodo, entonces se dice que el diodo se encuentra polarizado en forma inversa y este diodo está en un modo de bloqueo o circuito abierto. La figura 2.5 muestra al diodo y sus características ideales.

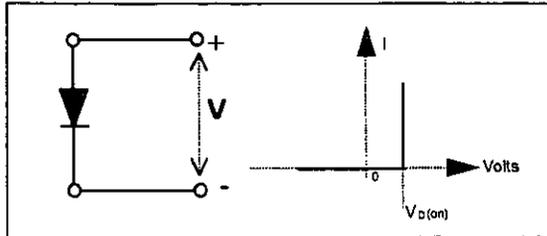


Figura 2.5. Diodo y curva característica ideal.

Transistores: Los transistores son dispositivos semiconductores de estado sólido cuyo descubrimiento ha dado como fruto el desarrollo de un conjunto de dispositivos aplicables al control, conversión, amplificación y conmutación de potencia. Dentro de toda la variación de transistores se encuentran dos familias muy importantes: los transistores de unión bipolar (*BJT Bipolar Junction Transistor*) y los transistores de efecto de campo (*MOSFETs Metal-Oxide-Static Field Effect Transistor*) con características bien definidas tanto en la fabricación como en la operación y los cuales utilizaremos en el presente trabajo.

Transistor de unión bipolar: Básicamente consta de tres elementos llamados: emisor, base y colector. Se distinguen dos tipos de ellos: El transistor tipo *n-p-n* y el transistor tipo *p-n-p*, de acuerdo a la integración del material semiconductor empleado en su fabricación. El símbolo que se emplea para representar un transistor *n-p-n* ó un *p-n-p*, en un circuito esquemático, es el que se muestra en la figura 2.6, donde la flecha en el emisor apunta el sentido en que circula normalmente la corriente. Como se muestra en la figura 2.6b para un transistor *n-p-n*, las corrientes se consideran positivas cuando entran por el colector y por la base y salen por el emisor; y las tensiones se consideran

positivas cuando la unión base-emisor queda polarizada en sentido directo y la unión base-colector queda polarizada en sentido inverso.

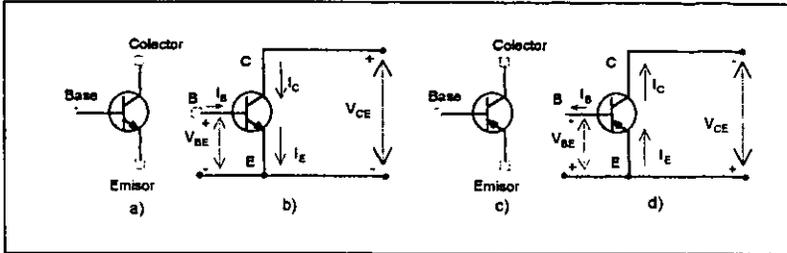


Figura 2.6. Representación esquemática y sentidos referencia para transistores *n-p-n* y *p-n-p*. (a) Símbolo para un transistor *n-p-n*; (b) sentidos de referencia para corrientes y voltajes en un transistor *n-p-n*; (c) símbolo para un transistor *p-n-p*; (d) sentidos de referencia para corrientes y voltajes en un transistor *p-n-p*.

El transistor es un elemento gobernado por corriente, es decir, es sensible a las variaciones de flujo de cargas sobre la unión emisor base y emisor colector. De ahí que, en la práctica, ningún transistor sea perfecto. Su impedancia tanto de entrada como de salida no son ni nulas ni infinitas; ellos mismos son elementos no lineales y, además, en su circuito asociado existen reactancias parásitas, todo lo anterior da lugar a un comportamiento variable según la gama de frecuencias de trabajo. Como se mencionó anteriormente, el transistor posee tres elementos internos los cuales identificamos como terminales y pueden conectarse en diferentes tipos de arreglos para tener dos terminales de entrada y dos de salida, de modo que una de ellas sea común a los circuitos de entrada y salida. Entonces, resultan tres configuraciones de circuitos: emisor común, base común y colector común. Todos ellos con polarización para ser utilizados como amplificadores como se muestra en la figura 2.7. Además, debemos remarcar que una de las grandes ventajas del transistor es el poder hacerlo operar en cualquiera de las tres regiones de trabajo: modo activo, estado de corte y estado de saturación.

Transistor de efecto de campo: Los transistores de efecto de campo *MOS* llamados también *MOSFET* encuentran una amplia aplicación en los circuitos integrados. Su importancia en ellos proviene de tres propiedades interesantes:

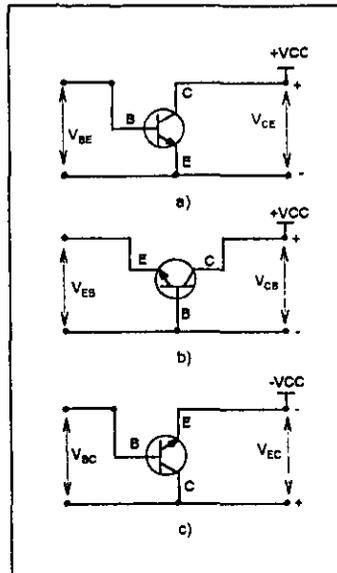


Figura 2.7. a) Arreglo de emisor común; b) arreglo de base común; c) arreglo de colector común.

En primer lugar, por su pequeño tamaño, puesto que es posible introducir de tres a cinco en el área requerida por un transistor de unión bipolar. La segunda ventaja que presentan los MOSFET es que, efectuando conexiones de circuito apropiadas, es posible emplear un MOSFET como resistencia de valor elevado que también ocupa un área muy pequeña. La tercera ventaja es que la resistencia medida entre una de sus terminales llamada puerta (*gate*), y cualquiera de las otras dos terminales es muy alta. La capacidad, muy pequeña, que tiene esta terminal respecto al resto de la estructura puede emplearse como elemento de almacenamiento en los circuitos de memoria.

La información queda almacenada como carga en la capacidad. Por lo tanto, el número de funciones de circuito que se obtienen en un chip de silicio es muy superior si se emplean *MOSFET* que si se emplean transistores de unión bipolar; y, por lo tanto, los proyectos de circuitos empleando *MOSFET* están ampliamente usados para la denominada integración en gran escala (*LSI*).

El símbolo esquemático convencional para un transistor *MOSFET* se muestra en la figura 2.8 en donde se observan tres terminales denominadas: fuente, S (*source*); compuerta, G (*gate*) y drenaje, D (*drain*).

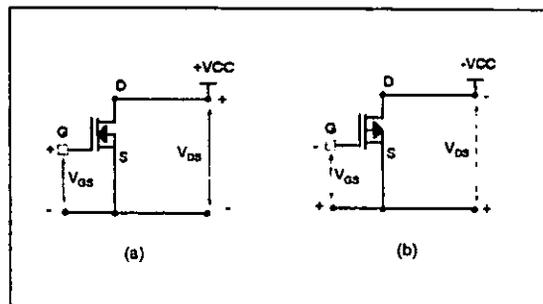


Figura 2.8. Representación esquemática para transistores *MOSFET*. (a) Símbolo para un transistor *MOSFET* canal n; (b) símbolo para un transistor *MOSFET* canal p.

Tiristor: El Tiristor o SCR está constituido por tres terminales: un ánodo, un cátodo y una compuerta. Cuando una corriente pequeña pasa a través de su compuerta y el cátodo, entonces, el tiristor conduce siempre y cuando el voltaje del ánodo sea mayor al del cátodo. La figura 2.9 muestra un tiristor y su curva característica.

Una vez que el tiristor se encuentra en el modo de conducción, la compuerta pierde el control sobre la conducción del tiristor, es decir, aunque la excitación de la compuerta desaparezca, el tiristor continúa conduciendo. Cuando

el tiristor está en el modo de conducción, la caída de tensión directa entre cátodo y ánodo es muy pequeña y su valor se encuentra entre 0.5 y 2 V. Un Tiristor conduciendo puede ser apagado si se logra llevar el voltaje del ánodo a un valor igual o menor que el voltaje en el cátodo.

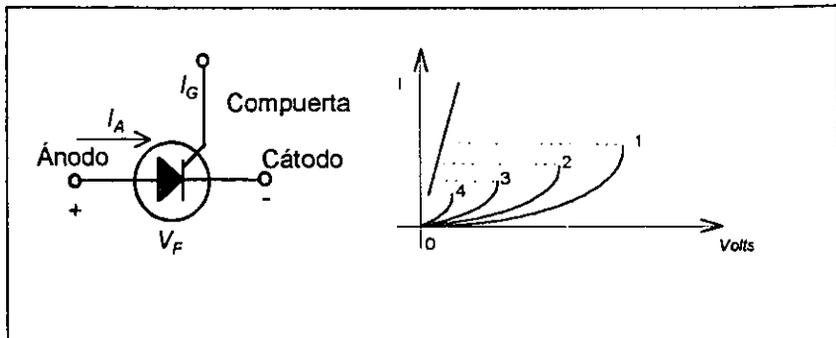


Figura 2.9. Tiristor y su curva característica.

Triacs: Los Triacs se emplean ampliamente para llevar a cabo diferentes tipos de control como el de motores y el de conmutadores de corriente alterna. Las características de estos dispositivos son similares a la de dos tiristores conectados en paralelo y en forma inversa con una sola compuerta de disparo tal y como se observa en la figura 2.10. El control de la corriente a través del TRIAC puede ser controlada en ambas direcciones de ahí una de sus ventajas sobre los otros dispositivos de estado sólido.

Motores

El motor es un mecanismo capaz de transformar la energía eléctrica o de combustión en energía mecánica. Principalmente se conocen: el motor de ciclo Otto, el motor eléctrico y el motor a diesel. En nuestro desarrollo hablaremos exclusivamente del motor eléctrico, ya que es el que utilizaremos en el presente proyecto.

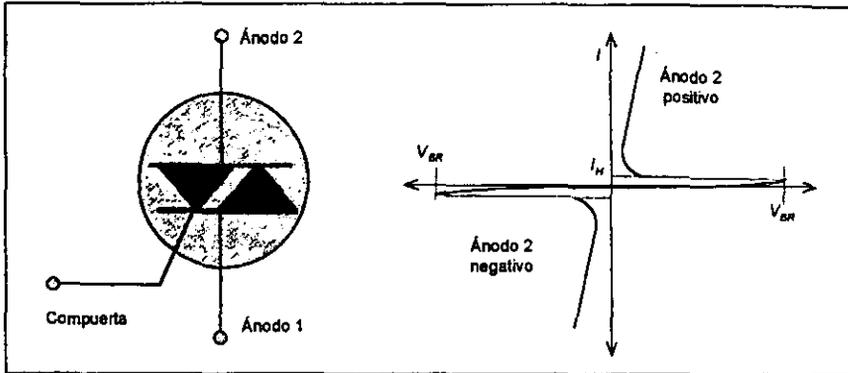


Figura 2.10. Simbología del TRIAC y curva característica.

Motor eléctrico: En términos generales, un motor eléctrico es una máquina que puede convertir la electricidad en movimiento rotatorio con objeto de que efectúe un trabajo útil. La elección de un motor eléctrico se hace de acuerdo a tres requerimientos: La fuente de alimentación disponible, las condiciones ambientales donde se usará y las exigencias de la carga. Siendo el primero de ellos el que nos permite hacer una clasificación generalizada de los mismos como: Motores de Corriente Continua o directa (c.c.), Motores de Corriente Alterna (c.a.), Motores de pasos.

Motores de corriente directa: Los motores de corriente directa son alimentados por una fuente que proporcione un tipo de alimentación continua y se les considera como motores de ajuste fino y *control preciso de velocidad*. El incremento en el uso de este tipo de motores, en los últimos años, es debido gracias al advenimiento de los convertidores tiristorizados (rectificadores de tensión controlada), esto es, la mejora de fuentes de corriente continua con tiristores fiables, de bajo costo y mantenimiento sencillo, los que lo han hecho atractivos para diferentes aplicaciones donde antes dominaban los motores de corriente alterna.

Los motores de corriente directa se pueden clasificar de muchas maneras: a) por la disposición de sus devanados de campo; b) por su cubierta; c) por sus características de carga-velocidad, d) por su entrada de potencia, e) por su salida de potencia, y f) por la eficiencia de potencia. En el presente trabajo haremos sólo mención de los motores de corriente directa en cuanto a la disposición de sus devanados y en base a esto se clasifican como: motor de c-c de derivación o *shunt*, motor de c-c serie, motor de c-c compound.

Motor de derivación o shunt: El motor de derivación debe su nombre al hecho de que su devanado de campo está conectado a la línea de alimentación de potencia en paralelo con el devanado de la armadura, lo cual significa que existe una trayectoria independiente para el flujo de corriente a través de cada devanado. La figura 2.11 muestra el diagrama eléctrico para este tipo de motor.

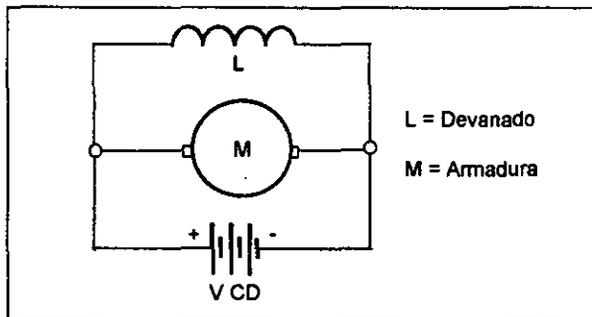


Figura 2.11. Motor de c-c de derivación o *shunt*.

En un motor de derivación la corriente de campo puede mantenerse constante y el circuito de armadura sólo sirve para controlar al motor. Así una de las principales características de este tipo de motor es el hecho de que puede mantener una velocidad constante al alimentar una carga variable y la carga puede quitarse totalmente sin peligro para el motor. El motor de derivación puede funcionar a varias velocidades mediante un control a base de una resistencia variable (reóstato) ya sea en serie con el devanado de campo, o el devanado de

armadura o ambos. El de mayor uso es el empleo del reóstato en serie con el devanado de campo proporcionando una aceleración rápida. Así cuando el par aumenta, la velocidad también aumenta y viceversa.

Motor de serie: El motor de serie utiliza el devanado de campo en serie con la armadura de tal forma que suministra un par de arranque alto, pero se tiene una característica carga-velocidad variable. Así, el motor serie no funciona a velocidad constante. A diferencia del motor de derivación, el par y la velocidad son inversamente proporcionales. Es decir que, cuando el par es elevado, la velocidad es baja; y cuando el par es bajo, la velocidad es alta. La figura 2.12 muestra la conexión de un motor de serie.

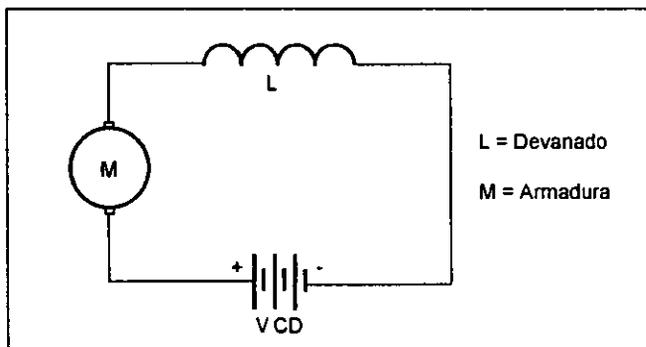


Figura 2.12. Diagrama esquemático de un motor de c-c de serie.

El motor de serie dadas sus características, es empleado donde se requiere de un par de arranque alto contra cargas intensas que deben permanecer acopladas a él durante una operación completa. Sin embargo, no conviene su empleo para aplicaciones en que se necesite una velocidad relativamente constante, tanto sin carga como a plena carga.

Motor compound: El motor de serie tiene características especiales que no tiene el de derivación y viceversa. Por ejemplo, la característica de velocidad constante del motor de derivación no se encuentra en el motor serie y la excelente

característica de alto par en el motor de serie no se encuentra en el motor de derivación. La combinación de ambas características nos llevan al motor de c-c *compound* en el cual existen dos devanados de campo: uno en serie con la armadura y el otro en paralelo con ella. La figura 2.13 muestra este tipo de motor.

Algunas de las ventajas al emplear este tipo de motor de c-c son entre otras que se tiene un alto par de arranque con velocidad de regulación moderada, de tal forma que el motor no se desboque al funcionar sin carga como sucede en los motores de serie.

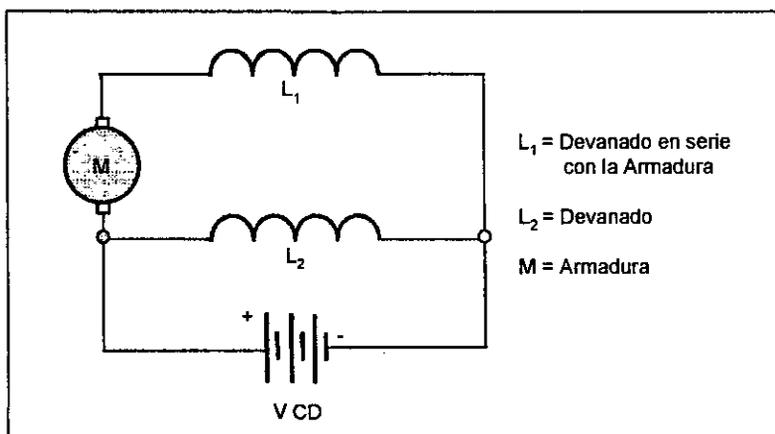


Figura 2.13. Diagrama simplificado de un motor *compound*.

Motores de corriente alterna: Para su operación requiere de una fuente de corriente alterna y como la mayor parte de energía eléctrica comercial es alterna, los motores de c-a son de mucho mayor uso que los de c-c, que requieren equipo especial de conversión. En cuanto a la clasificación de motores de corriente alterna se observa que existen los motores del tipo síncrono y asíncrono, los cuales están en función de la frecuencia de la red de alimentación y no serán tema de estudio en nuestro trabajo.

Una vez que se han repasado someramente algunos conceptos básicos y teóricos de transductores, bombas, convertidores analógico-digital, diodos, transistores, tiristores, *triacs*, motores de corriente directa así como se han indicado los alcances del proyecto para llevar a cabo el diseño del sistema de perfusión para cirugía de corazón abierto iniciaremos el siguiente capítulo con el diseño del intercambiador de temperatura.

INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

Una vez que se han dado los antecedentes de los equipos empleados en el mercado para llevar a cabo una perfusión y algunos conceptos básicos, procederemos a diseñar el intercambiador de temperatura.

DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

Un intercambiador de temperatura para un sistema de perfusión consiste en un dispositivo que sea capaz de elevar o reducir la temperatura de la sangre del paciente durante una perfusión, a través de un fluido; que en el caso de los equipos para cirugía este fluido es agua limpia, la cual se calienta con unas resistencias eléctricas y se enfría agregando hielos al recipiente de intercambio térmico.

Para el diseño de este intercambiador de temperatura nos basaremos en las siguientes funciones y características básicas: El rango de operación en el recipiente de agua caliente operará entre los 20°C a 44°C, y para el recipiente de agua fría de 25°C a 3°C; la velocidad de calentamiento no podrá exceder de 2.5°C/min.; la presión máxima a la salida de la bomba será de 50 *psi*; además, las unidades del despliegue de la temperatura serán en °C, y el control del sistema se llevará a cabo por un microcontrolador.

Con la intención de que el equipo fuera el adecuado para el uso de los perfusionistas mexicanos, se les solicitó opinión respecto a qué funciones deberían integrar y en general sobre cuál sería el intercambiador ideal, destacando las siguientes:

- Es deseable una pantalla donde se pueda monitorear la temperatura del paciente.
- El intercambiador debe ser lo más portátil posible para facilitar su traslado de un hospital a otro.
- El sistema de refrigeración puede ser por medio de la aplicación directa de hielo al reservorio de agua fría, de esta forma se ha demostrado que se obtiene una buena capacidad de enfriamiento, suficiente para lograr una buena hipotermia, además de que algunos fabricantes han retomado esta práctica en equipos de última generación, con la que se reducen costos, peso y volumen en los equipos, sin sacrificar la calidad de los mismos.

Tomando en cuenta estas opiniones y los equipos existentes en el mercado, a continuación se describirá el intercambiador propuesto.

El sistema intercambiador de temperatura está formado por diversos elementos que ayudan a elevar o disminuir la temperatura de la sangre aplicada al paciente sometido a una perfusión; llevando a cabo este intercambio de temperatura por medio de agua previamente calentada o enfriada que se hace circular a través de un serpentín localizado en el reservorio de sangre. De los párrafos anteriores se puede inferir que un intercambiador de temperatura estaría constituido por los siguientes elementos o módulos:

Recipiente de agua caliente: El cual contendrá agua, a la cual se le incrementará la temperatura hasta un nivel deseado y además contendrá el elemento calefactor (módulo de calefacción).

Recipiente de agua fría: El cual contendrá agua, a la cual se le decrementará la temperatura hasta un nivel deseado, por medio de hielos.

Módulo de calefacción: Con este módulo se elevará la temperatura del recipiente de agua caliente y esto puede hacerse utilizando resistencias calefactoras.

Módulo de medición de temperatura: Este módulo entregará una señal proporcional a la temperatura del agua de los recipientes, la cual será obtenida mediante un termistor; considerando que la señal eléctrica de un termistor no es lineal, es necesario un módulo acondicionador de señales.

Módulo acondicionador de señales: En este módulo se linealizará la señal proveniente del termistor y se adecuará la magnitud de la señal a los valores de voltaje de entrada del módulo de procesamiento de datos y control.

Módulo de interface con el usuario: Este módulo permitirá al usuario seleccionar qué tipo de procedimiento realizará (calentamiento o enfriamiento), programar la temperatura, activar el sistema de bombeo y verificar el estado de

encendido/apagado de los diversos elementos a controlar (*heaters*, bomba, etc.), este módulo estará compuesto por dos submódulos, uno para las entradas y otro para las salidas o despliegue de datos.

Módulo de procesamiento de datos y control: Este módulo procesará las señales de temperatura, las mandará hacia un módulo de despliegue, y activará los dispositivos necesarios para llevar a cabo el procedimiento que el usuario le indique.

Módulo de potencia: Este módulo servirá de acoplamiento entre la etapa de control y los dispositivos que requieran voltaje de línea (127 VCA).

Módulo direccionador de flujo: Este módulo en sí constituye el circuito hidráulico y permitirá el libre flujo del agua del recipiente para el procedimiento seleccionado, desde el recipiente hacia el oxigenador y viceversa.

Sistema de bombeo: Este módulo estará constituido por una bomba que hará circular el agua a una presión determinada.

Módulo hidráulico de salidas y retornos: Este módulo estará constituido básicamente por conectores de salida y/o retorno.

Fuente de alimentación: Este módulo proporcionará los voltajes de corriente directa para alimentar a los circuitos de control.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA POR BLOQUES

La interacción de los elementos o módulos antes citados se ilustra en la figura 3.1.

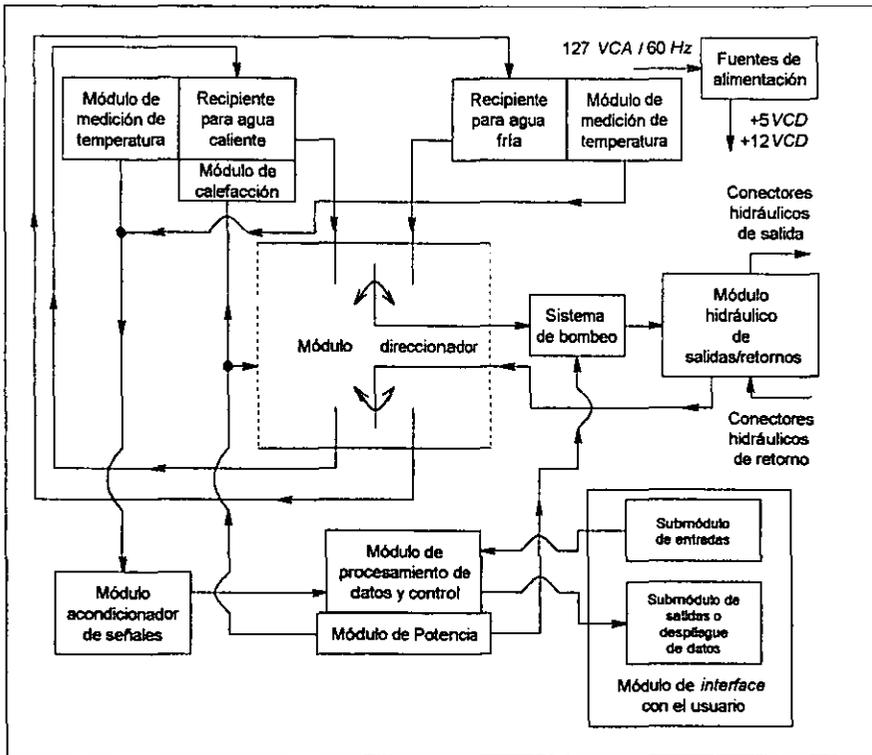


Figura 3.1. Diagrama a bloques del intercambiador de temperatura propuesto.

Como se puede observar, se tienen dos recipientes de agua: uno de caliente y otro de fría. El recipiente de agua caliente tiene una capacidad de almacenaje de agua adecuado para mantener la temperatura del agua caliente, a la temperatura seleccionada a través del módulo de *interface* con el usuario, que

es el tablero de control. El recipiente de agua caliente cuenta con un dispositivo calefactor basado en resistencias eléctricas sumergidas en el agua, las cuales al recibir la alimentación eléctrica del circuito de potencia inician su operación convirtiendo la energía eléctrica de entrada en energía calorífica y la cual se transfiere al agua incrementando la temperatura a una relación deseada de $2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. El recipiente cuenta, además, con un transductor de temperatura que monitorea constantemente la temperatura del agua dentro del recipiente y la convierte en una señal eléctrica analógica proporcional a la temperatura. La señal eléctrica se aplica al módulo acondicionador de señales, el cual la linealiza y la acopla al módulo de procesamiento de datos y control. La señal, en este punto, se procesa y de forma digital se aplica al submódulo de despliegue de datos, en donde el usuario puede ver qué temperatura tiene en ese momento el recipiente. Además, el módulo de procesamiento de datos y control entrega información al módulo de potencia para accionar tanto al sistema de bombeo como al módulo direccionador, con objeto de hacer circular el agua por todo el circuito hidráulico, desde alguno de los recipientes de agua a través del módulo hidráulico y de ahí hasta el reservorio donde se encuentra un serpentín y es, precisamente a través del serpentín, donde se lleva a cabo la transferencia de calor entre el agua caliente y la sangre durante la perfusión. En este punto, cabe señalar una vez más, que no existe mezcla de fluidos y la temperatura ganada por la sangre es la que cede el agua caliente por inducción térmica. El retorno del agua se completa al hacerla regresar al recipiente de origen para cerrar el ciclo y de esta forma volver a recuperar la energía cedida en el reservorio.

Adicionalmente, tanto para calentamiento como para enfriamiento, el circuito hidráulico del intercambiador de temperatura permite la recirculación interna, esto es, que permite en determinado momento recircular el agua internamente sin tener que estar conectada la salida, permitiendo así incrementar o disminuir la temperatura del agua previo al inicio de la perfusión.

El usuario le indicará al módulo de procesamiento de datos y control qué

función desea, vía el módulo de *interface* con el usuario. Una vez seleccionado el modo de operación (frío o caliente), el módulo de procesamiento de datos y control activará el sistema de bombeo, así como, indicará al módulo direccionador de flujo cuál será el recipiente del que se desea extraer el flujo de agua.

El módulo de procesamiento de datos y control estará acoplado a una etapa de potencia, por medio de la cual controlará los componentes eléctricos como los dispositivos calefactores en el recipiente de agua caliente, el motor eléctrico de la bomba y las válvulas solenoides del módulo direccionador de flujo.

Además se contará con una fuente de alimentación eléctrica de corriente directa para alimentar cada una de las etapas.

3.2 DISEÑO DE LOS RECIPIENTES DE AGUA Y DEL MÓDULO DE CALEFACCIÓN

Características del recipiente de agua caliente: El recipiente contendrá un volumen de agua suficiente, para que en combinación con el módulo de calefacción logre una relación de incremento de temperatura en el agua de 2.5 °C /min.

Características del módulo de calefacción: Éste estará constituido por resistencias calefactoras (*heaters*) cuya potencia estará estrechamente relacionada con el volumen de agua contenido en el recipiente y la relación de incremento de temperatura deseada.

Para elevar la temperatura del agua contenida en el recipiente, se le suministrará calor por medio resistencias calefactoras, y el cálculo de la potencia de las mismas está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = m c (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 3.1.})$$

Donde:

$$c = \text{calor específico del agua} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$(T_f - T_i) = 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

m = masa de agua

Para obtener el valor de Q , se propondrá un volumen de agua de 10 lt, por lo que la masa de agua será:

$$m = \rho v = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (0.01 \text{ m}^3) = 10 \text{ kg}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 3.1, se tiene que:

$$Q = (10 \text{ kg}) * \left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) * (2.5 \text{ } ^\circ\text{C}) = 25 \text{ kcal}$$

Pero se tiene la siguiente relación de transformación:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{min}} = 69.6 \text{ W}$$

Por lo que:

$$25 \text{ kcal} = 1,740 \text{ W}$$

Por lo tanto la potencia que se requiere es de 1,740 W. Por convenir al diseño, se fijará la potencia en 1,500 W, donde se utilizará una resistencia de 1,200 W y otra de 300 W cuyos valores son comerciales. El propósito de seleccionar estos dos valores es con la finalidad de tener una resistencia de sostenimiento y/o precalentamiento (300 W). Así, una vez determinados estos valores, se volverá a calcular el volumen de agua necesario para que la relación de incremento sea la deseada, por lo que despejando la variable masa de la

ecuación 3.1, se tiene:

$$m = \frac{Q}{c(T_f - T_i)} \quad (\text{Ec. 3.2.})$$

Sustituyendo valores y considerando que:

$$1500 \text{ W} = 21.5 \frac{\text{kcal}}{\text{min}}$$

$$m = \frac{21.5 \frac{\text{kcal}}{\text{min}}}{\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) * (2.5^\circ\text{C})} = 8.6 \text{ kg}$$

De este valor se tiene que el volumen de agua es de 8.6 lt. y se propone un recipiente con la forma mostrada en la figura 3.2.

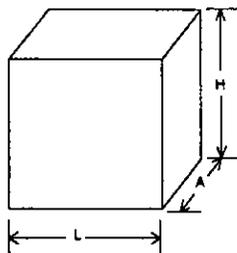


Figura 3.2. Recipiente de agua caliente.

En forma preliminar, se calcularán las dimensiones del recipiente, en principio para que contenga en forma justa el volumen de agua obtenido previamente y posteriormente se ajustarán las medidas del recipiente para que pueda contener el volumen de agua más los aditamentos necesarios como son: *heaters*, codo de retorno, flotador, etc. De la figura 3.2 se sabe que:

$$\text{Vol} = L \cdot A \cdot H = 8.6 \text{ lt} = 8,600 \text{ cm}^3$$

Haciendo que $L=A = 22 \text{ cm}$ se tiene que:

$$H = \frac{\text{Vol}}{L \cdot A} = \frac{8,600 \text{ cm}^3}{22 \text{ cm} \cdot 22 \text{ cm}} = 17.77 \text{ cm}$$

Para dar un margen a la colocación de los aditamentos se hará que $H=25 \text{ cm}$. Las medidas del recipiente de agua fría serán las mismas que para éste logrando con esto cierta simetría en el diseño.

3.3 DISEÑO DEL MÓDULO DIRECCIONADOR DE FLUJO (CIRCUITO HIDRÁULICO)

Características: Deberá contar con conexiones que permitan el flujo de cada recipiente hacia los elementos de control del flujo de agua para que de ahí se conecte al sistema de bombeo; Después del sistema de bombeo, el agua debe ser dirigida hacia los conectores de salida y en este punto tener una pequeña ramificación hacia el conector de retorno; a partir del conector de retorno, el agua debe ser dirigida nuevamente hacia los elementos de control de flujo, y de ahí ser enviada hacia el respectivo recipiente.

Como elementos de control de flujo se utilizarán válvulas solenoides con una alimentación a la bobina de 127 VCA/60 Hz, que son los valores de la línea de alimentación.

El circuito hidráulico que se propondrá es el mostrado en la figura 3.3, en donde se muestran las direcciones del flujo de agua que se tendrían.

3.4 SISTEMA DE BOMBEO

Características: El sistema estará constituido básicamente por una bomba comercialmente disponible en el mercado con una alimentación de 127 VCA/60 Hz y que pueda suministrar a la salida del intercambiador 50 psi.

El tipo de bomba a utilizar será de tipo centrífugo, ya que este tipo de bombas es de las más económicas.

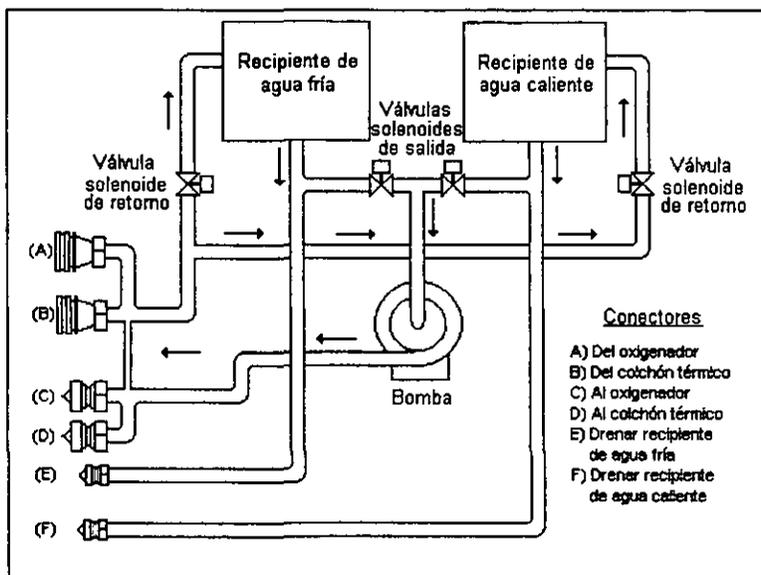


Figura 3.3. Circuito hidráulico del intercambiador de temperatura.

3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

Antes de los microcontroladores los circuitos de control eran cableados, conectando diversos dispositivos electrónicos y sus funciones eran determinadas por los circuitos y cables contenidos en ellos. Con la llegada de los

microprocesadores el diseño de la arquitectura de los sistemas digitales cambió, basándose ahora en la integración de elementos tales como: la memoria, la unidad central de procesamiento (*CPU*) y puertos de entrada-salida actuando como un sistema de elementos separados. La idea del microcontrolador se fundamentó en esta misma arquitectura, pero, estos elementos están integrados dentro de un solo circuito integrado (*CI*) e incluyen convertidores analógico-digital, convertidores digital-analógico y *timers*. La operación del microcontrolador está determinada básicamente por su programa (*software*); en general, cualquier función que pueda ser implementada alambrando circuitos integrados digitales, puede ser llevada a cabo por un *MCU* sin ningún problema. Otra ventaja del *MCU* con respecto a la lógica alambrada es que hacer modificaciones y mejoras sólo implica un cambio al programa que se esté ejecutando para una aplicación dada, mientras que en la lógica alambrada esto implica cambiar circuitos integrados y modificar las conexiones del alambrado; por esto, basaremos nuestro diseño en un microcontrolador. A continuación se presenta el diseño eléctrico de los módulos del intercambiador de temperatura en un orden lógico.

3.6 DISEÑO DEL MÓDULO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Características: Este módulo estará constituido básicamente por un transductor de temperatura el cual deberá poder manejar un rango de temperaturas de al menos desde 2°C hasta 44°C.

El transductor que se utilizará es un termistor y para el rango de temperatura requerido se encontró en el mercado nacional termistores que cumplen con estas características; ya que su resistencia varía en un rango que oscila desde 14.433 $k\Omega$, para valores mínimos de temperatura (2°C), hasta 2.090 $k\Omega$, para valores máximos de temperatura (44°C); reduciendo la resistencia en forma exponencial cuando se incrementa la temperatura. En la figura 3.4 se observa la gráfica de la resistencia del termistor contra la variación de temperatura.

Con la finalidad de manejar esta señal y evitar errores en la conversión de valores por el convertidor *A/D* interno del *MCU*, es necesario linealizar el comportamiento del mismo

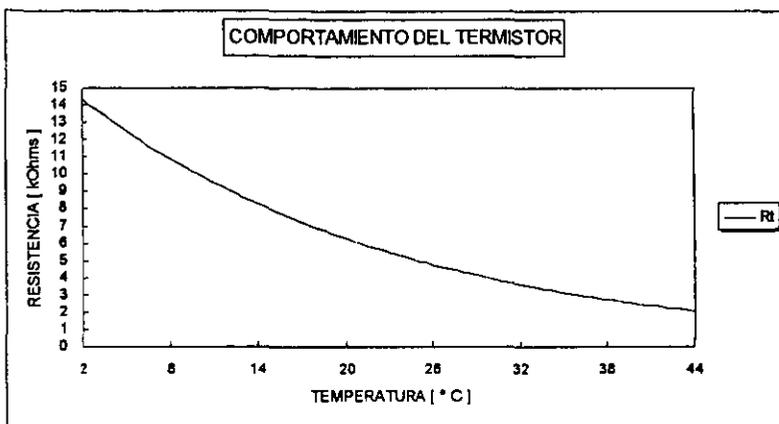


Figura 3.4. Curva característica del termistor empleado.

3.7 DISEÑO DEL MÓDULO ACONDICIONADOR DE SEÑALES

Características: En este módulo se llevará a cabo la "linealización" de la salida del termistor y se ajustará la magnitud de la señal a los valores de voltaje requeridos en el módulo de procesamiento de datos y control.

Como se ha indicado con anterioridad, la respuesta de este tipo de transductores tiene características no lineales, de tal forma que, para llevar a cabo la adecuación de la respuesta de éstos se analizará el comportamiento del termistor del recipiente de agua caliente, siendo válidos los resultados para el termistor del recipiente de agua fría y también para el del paciente.

En la figura 3.5 se puede apreciar, que entre más próximos estén los límites del rango de variación de la curva del termistor (puntos 1 y 2), su comportamiento parece más lineal, y para nuestro propósito, una variación de este tipo es suficiente. Para lograr lo anterior, es posible si se utiliza una resistencia en paralelo con el termistor (R_m) con lo que el valor de la resistencia equivalente R_{eq} será menor que el menor valor de R_t y R_m y estará dado por la siguiente ecuación:

$$R_{eq} = \frac{R_t * R_m}{R_t + R_m} \quad (\text{Ec. 3.3.})$$

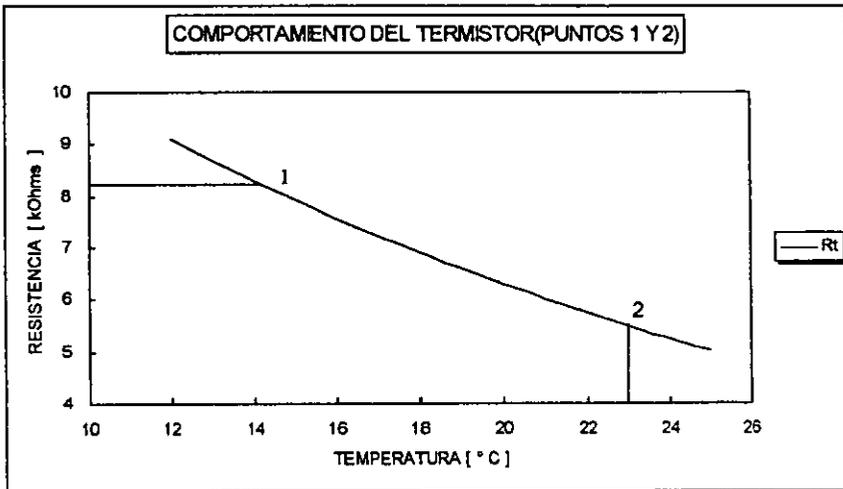


Figura 3.5. Curva del termistor entre los puntos 1 y 2.

Para encontrar el valor de la resistencia que estará en paralelo con el termistor, se hicieron diferentes cálculos del comportamiento de la resistencia equivalente R_{eq} del paralelo entre el termistor R_t y R_m , sustituyendo valores en la ecuación 3.3. Para ello, se utilizaron resistencias con valores comerciales para R_m , obteniendo sus correspondientes gráficas. Finalmente se decidió utilizar una

resistencia (R_m) de $6.8\text{ k}\Omega$, en la figura 3.6 se muestra la tabla donde aparecen los valores para R_{eq} respecto a las diferentes temperaturas muestreadas.

Temp. [° C]	Resistencia del Termistor R_t [kohms]	R_{eq} [kohms] R_t/R_m
2	14.433	4.622
2.6	14.040	4.581
3	13.784	4.554
3.6	13.409	4.512
4	13.184	4.484
4.6	12.808	4.442
5	12.572	4.413
5.6	12.230	4.370
6	12.007	4.341
6.6	11.680	4.288
7	11.467	4.269
7.6	11.155	4.225
8	10.851	4.195
8.6	10.653	4.151
9	10.459	4.121
9.6	10.174	4.076
10	9.968	4.046
10.6	9.716	4.000
11	9.539	3.970
11.6	9.280	3.924
12	9.110	3.894
12.6	8.862	3.848
13	8.701	3.817
13.6	8.464	3.771
14	8.309	3.740
14.6	8.063	3.693
15	7.936	3.662
15.6	7.720	3.615
16	7.578	3.584

Temp. [° C]	Resistencia del Termistor R_t [kohms]	R_{eq} [kohms] R_t/R_m
16.6	7.372	3.537
17	7.238	3.508
17.6	7.041	3.459
18	6.912	3.428
18.6	6.724	3.381
19	6.602	3.360
19.6	6.422	3.303
20	6.305	3.272
20.6	6.133	3.225
21	6.021	3.193
21.6	5.867	3.147
22	5.750	3.116
22.6	5.584	3.069
23	5.482	3.038
23.6	5.342	2.992
24	5.245	2.961
24.6	5.102	2.915
25	5.009	2.884
25.6	4.873	2.839
26	4.784	2.808
26.6	4.653	2.763
27	4.569	2.733
27.6	4.444	2.688
28	4.363	2.658
28.6	4.244	2.613
29	4.167	2.584
29.6	4.053	2.540
30	3.980	2.510
30.6	3.871	2.467

Temp. [° C]	Resistencia del Termistor R_t [kohms]	R_{eq} [kohms] R_t/R_m
31	3.801	2.438
31.6	3.697	2.395
32	3.630	2.367
32.6	3.531	2.324
33	3.466	2.296
33.6	3.372	2.254
34	3.311	2.227
34.6	3.220	2.185
35	3.162	2.158
35.6	3.076	2.118
36	3.020	2.091
36.6	2.937	2.051
37	2.884	2.025
37.6	2.805	1.986
38	2.754	1.960
38.6	2.679	1.922
39	2.630	1.897
39.6	2.559	1.859
40	2.512	1.834
40.6	2.444	1.798
41	2.389	1.773
41.6	2.334	1.737
42	2.291	1.714
42.6	2.229	1.679
43	2.188	1.655
43.6	2.128	1.621
44	2.090	1.598

Figura 3.6. Tabla comparativa entre la resistencia del termistor R_t y la resistencia equivalente R_{eq} del paralelo entre R_t y R_m .

En la figura 3.7 se muestran la curva del termistor así como la gráfica resultante de la linealización, en donde se puede apreciar el efecto de la resistencia en paralelo, el cual reduce significativamente la diferencia entre los valores de R_t para temperatura máxima y mínima. La disminución del valor de la pendiente origina una curva más lineal, permitiendo con esto que las variaciones en las lecturas de temperatura sean minimizadas como resultado de la linealización.

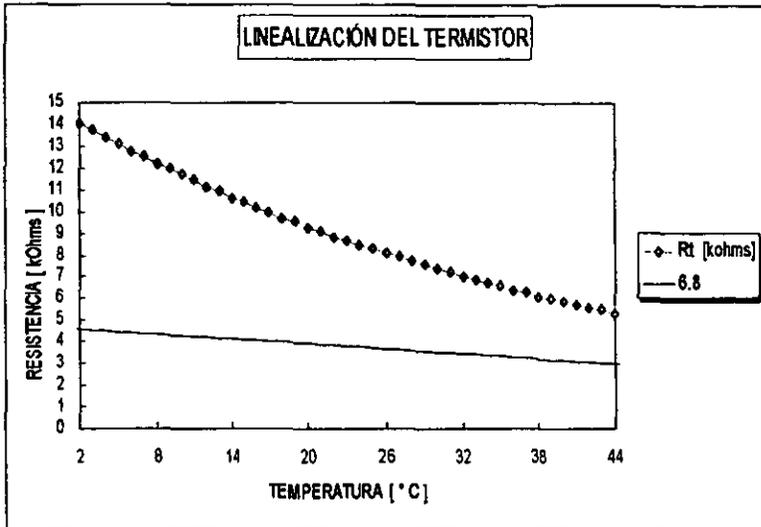


Figura 3.7. Gráfica de la curva del termistor y R_{eq} .

Una vez "linealizado" el comportamiento del termistor, es necesario implementar un circuito electrónico de tal forma que la caída de voltaje en el termistor sea la señal de entrada a un convertidor A/D. Este convertidor se encontrará en el módulo de procesamiento de datos y control, y será un elemento contenido en el microcontrolador que se elija. Para que la señal que se envíe al convertidor A/D sólo dependa de la variación de la resistencia en el termistor es necesario que la corriente que circule a través de él no varíe.

Para lograr el fin anterior se diseñará una fuente de corriente constante. Así, de los valores máximo y mínimo de R_{eq} se observa que si la corriente que circula a través de ella es de 1 mA , la caída de voltaje en R_{eq} estará comprendida entre 4.622 V y 1.598 V . La fuente diseñada se presenta en la figura 3.8.

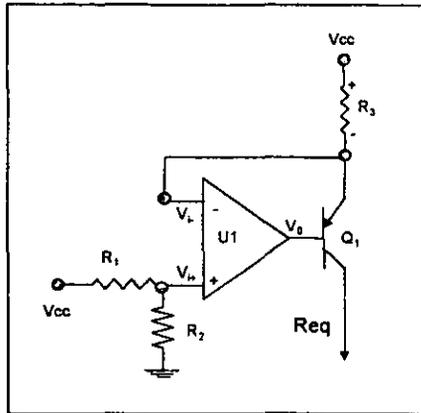


Figura 3.8. Circuito de corriente constante para la resistencia equivalente del termistor.

De las características del amplificador operacional se sabe que:

- ◇ El voltaje de entrada diferencial es cero, esto es:

$$V_{-} = V_{+} \quad (\text{Ec. 3.4.})$$

- ◇ La retroalimentación permite que su ganancia se estabilice y ésta depende del arreglo de las resistencias de retroalimentación.
- ◇ La impedancia de sus entradas es muy grande, por lo que puede considerarse que la corriente de entrada tanto a la terminal positiva como a la negativa es cero.

De las características del transistor (*TBJ*) se sabe que:

- ◇ La corriente en el emisor es igual a la suma de las corrientes en la base y en el colector: $I_e = I_b + I_c$
- ◇ En la región de activa directa o lineal, se cumple lo siguiente:

$$i_c \approx \beta I_B \quad (\text{Ec. 3.5.})$$

$$I_e = \frac{I_c \beta}{\beta + 1} \quad (\text{Ec. 3.6.})$$

◊ Para valores de $\beta > 50$ la relación anterior se reduce a:

$$\frac{\beta}{\beta + 1} \approx 1 \quad (\text{Ec 3.7.})$$

De la figura 3.8 y de la ecuación 3.4 se tiene que:

$$V_{i^+} = V_{i^-} = \frac{V_{CC} * R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec. 3.8.})$$

De las características del amplificador operacional y del TBJ tenemos que :

$$I_{Tot} \approx I_C \approx I_E$$

De ahí que la caída de voltaje en la resistencia de colector R_3 , tanto en función de la corriente I_{Tot} a través de ella o de las diferencias de potencial, será:

$$V_{R3} = R_3 * I_{Tot} \quad (\text{Ec. 3.9.})$$

$$V_{R3} = V_{CC} - V_{i^-} \quad (\text{Ec. 3.10.})$$

De las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10 se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{CC} - \frac{V_{CC} * R_2}{R_1 + R_2} = R_3 * I_{Tot} \quad (\text{Ec. 3.11.})$$

Haciendo $R_1=R_2$ en la ecuación 3.11 tenemos:

$$\frac{V_{CC}}{R_3} - \frac{V_{CC}}{2 * R_3} = I_{Tot}$$

$$I_{Tot} = V_{CC} * \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{2 * R_3} \right)$$

De donde finalmente:

$$R_3 = \frac{V_{CC}}{2 * I_{Tot}} \quad (\text{Ec. 3.12.})$$

Considerando $V_{CC}=12 \text{ VCD}$ y sustituyendo valores en la ecuación 3.12, se obtiene que:

$$R_3 = \frac{12 \text{ VCD}}{2 * (1 \text{ mA})} = 6 \text{ k}\Omega$$

El valor de esta resistencia no es comercial y ya que se requiere precisión en este punto, se utilizará una resistencia de precisión de película metálica de $6.04 \text{ K}\Omega$. La potencia de disipación de esta resistencia estará de acuerdo a la siguiente relación:

$$P_{DR_3} = (0.001 \text{ A})^2 * 6,040 \Omega = 6.04 \text{ mW}$$

Para esta fuente de corriente constante del circuito linealizador se usarán resistencias R_1 y R_2 con valor de $2.7 \text{ k}\Omega$ al 5%, y R_3 será de $6.04 \text{ k}\Omega \pm 1\%$ a $\frac{1}{4}$ de Watt.

Ahora bien, para el cálculo de la potencia que deberá disipar la resistencia R_m y el termistor R_t se utilizará la figura 3.9.

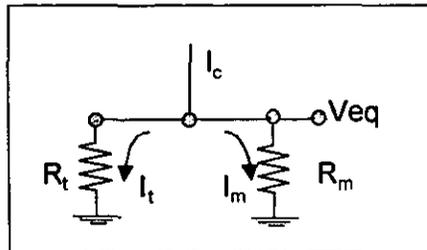


Figura 3.9. Circuito equivalente simplificado para la linealización del termistor.

De la figura 3.9 se pueden establecer las siguientes relaciones para las temperaturas mínima y máxima que se registrarán en un momento dado; así, aplicando la ley de Ohm se tiene que:

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{Ec. 3.13.})$$

Para una temperatura de 2°C la corriente I_t que circula por el termistor es:

$$I_{R_t, 2^\circ\text{C}} = \frac{V_{eq}}{R_t} = \frac{4.62 \text{ VCD}}{14.4 \text{ k}\Omega} = 0.33 \text{ mA}$$

Para una temperatura de 2°C, la corriente I_m que circula por la resistencia R_m en paralelo al termistor es:

$$I_{R_m, 2^\circ\text{C}} = \frac{V_{eq}}{R_m} = \frac{4.62 \text{ VCD}}{6.8 \text{ k}\Omega} = 0.68 \text{ mA}$$

La potencia de disipación P_D en ambas resistencias R_t y R_m a 2°C y la potencia total equivalente será:

$$P_{DR_t, 2^\circ\text{C}} = (0.33 \text{ mA})^2 * 14.4 \text{ k}\Omega = 1.56 \text{ mW}$$

$$P_{DR_m, 2^\circ\text{C}} = (0.68 \text{ mA})^2 * 6.8 \text{ k}\Omega = 3.14 \text{ mW}$$

$$P_{D_{eq}, 2^\circ\text{C}} = P_{DR_t, 2^\circ\text{C}} + P_{DR_m, 2^\circ\text{C}} = 1.56 \text{ mW} + 3.14 \text{ mW} = 4.7 \text{ mW}$$

En forma similar, efectuando los mismos cálculos para una temperatura de 44°C se tendrán los siguientes resultados:

$$I_{R_t, 44^\circ\text{C}} = \frac{V_{eq}}{R_t} = \frac{1.598 \text{ VCD}}{2 \text{ k}\Omega} = 0.80 \text{ mA}$$

$$I_{R_m, 44^\circ\text{C}} = \frac{V_{eq}}{R_m} = \frac{1.598 \text{ VCD}}{6.8 \text{ k}\Omega} = 0.235 \text{ mA}$$

$$P_{DR_t, 44^\circ\text{C}} = (0.80 \text{ mA})^2 * 2 \text{ k}\Omega = 1.28 \text{ mW}$$

$$P_{DR_m, 44^\circ\text{C}} = (0.235 \text{ mA})^2 * 6.8 \text{ k}\Omega = .375 \text{ mW}$$

$$P_{D_{eq}, 44^\circ\text{C}} = P_{DR_t, 44^\circ\text{C}} + P_{DR_m, 44^\circ\text{C}} = 1.28 \text{ mW} + 0.375 \text{ mW} = 1.655 \text{ mW}$$

De acuerdo a los valores obtenidos, el termistor debe tener la capacidad de disipar una potencia 1.56 mW cuando se tengan temperaturas mínimas en el recipiente de agua caliente y también se observa que la potencia máxima de disipación de la resistencia linealizadora R_m debe ser de 3.14 mW . De ahí que se seleccionará, la resistencia $R_m = 6.8 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4}$ de Watt.

Para el cálculo de la potencia de disipación de las resistencias R_1 y R_2 de entrada a la fuente de corriente constante se utilizará la figura 3.10.

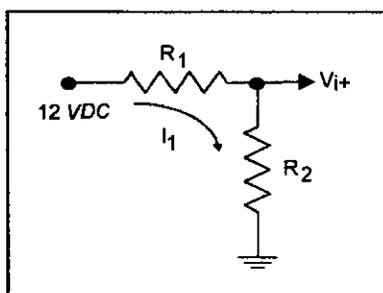


Figura 3.10. Circuito divisor de tensión a la entrada de U1.

La corriente de entrada I_1 que circula a través de R_1 y R_2 viene dada por la relación:

$$I_1 = \frac{12 \text{ VCD}}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec. 3.14.})$$

Sustituyendo valores de R_1 y R_2 en la ecuación 3.14, se tiene que el valor de la corriente, la cual servirá para calcular la disipación de potencia de las mismas, es:

$$I_1 = \frac{12 \text{ VCD}}{2.7 \text{ k}\Omega + 2.7 \text{ k}\Omega} = 2.22 \text{ mA}$$

La potencia disipada en cada una de las resistencias viene dada por la

relación:

$$P_R = I^2 * R \quad (\text{Ec. 3.15.})$$

como R_1 y R_2 son iguales, se tendrá:

$$P_{DR_1} = P_{DR_2} = (2.22 \text{ mA})^2 * 2,700 \Omega = 13.3 \text{ mW}$$

Por lo que R_1 y R_2 serán a $\frac{1}{4}$ de Watt, la potencia máxima que disipará el transistor Q_1 es:

$$P_{Q_1 \text{ máx.}} = V_{EC \text{ máx.}} * I_E = (6 \text{ VCD} - 1.598 \text{ VCD}) * (1 \text{ mA}) = 4.402 \text{ mW}$$

Los requerimientos que debe poder cumplir el transistor Q_1 son: proporcionar 1 mA de corriente por el colector, tener capacidad para disipar 4.402 mW y tener una β grande (mayor a 50).

Un transistor que cumple con las condiciones del circuito de la figura 3.11 es el 2N2907A, con una $\beta > 100$, capacidad de disipación de 625 mW, opera perfectamente si se le alimenta con un voltaje $VCC = +12 \text{ VCD}$.

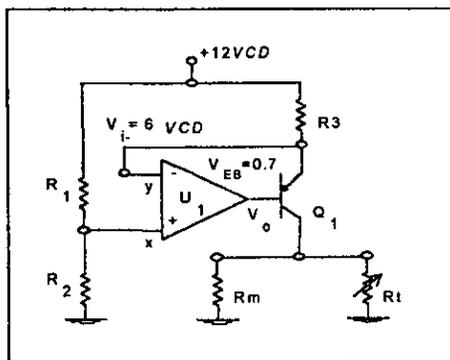


Figura 3.11. Transistor Q_1 como fuente de corriente constante de 1mA.

De la figura 3.11 se puede establecer que la potencia de disipación del amplificador operacional U_1 depende de la corriente que demande el transistor Q_1 . El voltaje de salida de U_1 será, por efecto de la tierra virtual:

$$V_o \approx V_{i-} - V_{EB} \approx 6.0 \text{ VCD} - 0.7 \text{ VCD} \approx 5.3 \text{ VCD}$$

y dado que:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \text{ mA}}{100} = 10 \mu\text{A}$$

La potencia de salida del amplificador operacional será:

$$P_D = V_o * I_o = 5.3 \text{ Volts} * 10 \mu\text{A} = 53 \mu\text{W}$$

Las consideraciones que se tomarán para la elección del amplificador operacional U_1 son: $V_{cc}=+12\text{VCD}$, $V_{in}=+6\text{VCD}$, que la variación de la temperatura durante la operación del sistema estará en el rango de 0 a 45°C y que sea capaz de disipar 53 μW . Tomando en cuenta lo anterior se sugiere que el amplificador operacional LM747 es ideal ya que además de cumplir ampliamente con los requerimientos del circuito, es un dispositivo comercial de fácil uso, confiable y de bajo costo. Algunas de sus principales características son las siguientes:

$$V_{CC_{\text{máx}}} = \pm 22.0 \text{ VCD}$$

$$\text{Disipación} = 0.8 \text{ W}$$

$$\text{Voltaje de entrada}_{\text{máx}} = \pm 15.0 \text{ VCD}$$

$$\text{Temperatura de operación} = \text{de } -55 \text{ a } 125^\circ\text{C}$$

Para mayor información sobre este dispositivo se puede consultar el apéndice B.

Hasta aquí ya se tiene una señal que relaciona la temperatura con un voltaje, el cual está en función de la resistencia equivalente del termistor y la resistencia R_m . Este voltaje ya tiene una forma más lineal pero se presenta el

problema de que a valores bajos de temperatura se tienen valores altos de voltaje en V_1 y viceversa. Para ser consistentes con la forma en que el convertidor analógico-digital interprete la información que entra a éste, esto es, a mayor temperatura mayor voltaje y a menor temperatura menor voltaje, es necesario utilizar un circuito electrónico que invierta la pendiente de esta señal. Para resolver este problema se utilizará un amplificador operacional de ganancia unitaria con el cual se implementará una función en la cual a un nivel de CD se le restará la señal linealizada para lograr con esto invertir la pendiente de la variación de V_1 con respecto a la temperatura.

Se utilizará un amplificador operacional en configuración de sumador con ganancia unitaria en la cual la señal linealizada entrará por la terminal negativa y el nivel de CD se suministrará por la terminal positiva, como se muestra en la figura 3.12.

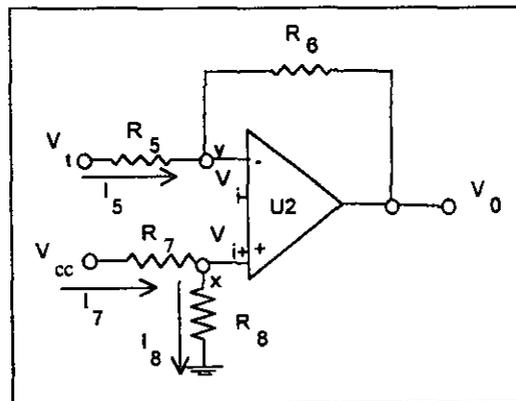


Figura 3.12. Circuito del amplificador sumador inversor de ganancia unitaria U_2 .

Para el cálculo del voltaje de salida V_0 del circuito se aplicará el principio de superposición, con lo que se tiene:

$$V_0 = V_{0/V_i=0} + V_{0/V_{CC}=0} \quad (\text{Ec. 3.16.})$$

Haciendo $V_i=0$, la salida es la siguiente:

$$V_{0/V_i=0} = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) V_{CC} \left(\frac{R_4}{R_7 + R_4}\right) \quad (\text{Ec. 3.17.})$$

Haciendo $V_{CC}=0$, la salida es la siguiente:

$$V_{0/V_{CC}=0} = -\left(\frac{R_6}{R_5}\right) V_i \quad (\text{Ec. 3.18.})$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.17 y 3.18 en la ecuación 3.16 se tiene

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) V_{CC} \left(\frac{R_4}{R_7 + R_4}\right) - \left(\frac{R_6}{R_5}\right) V_i \quad (\text{Ec. 3.19.})$$

De la ecuación anterior se puede observar que si las resistencias son del mismo valor, $R_5=R_6=R_7=R_8$ para simplificar los cálculos, se cumple la condición deseada que es:

$$V_0 = V_{CC} - V_i \quad (\text{Ec. 3.20.})$$

Si se elige un valor de $100 \text{ k}\Omega$ para las resistencias de la ecuación 3.19 se tendrá que la corriente a través de R_5 sea muy pequeña comparada con la corriente a través de R_{eq} . Entonces, la potencia disipada por las resistencias de entrada R_7 y R_8 está dada en función de la corriente I_7 (ver figura 3.13), la cual se supondrá igual a la corriente I_8 debido a la alta impedancia que presenta el amplificador operacional U_2 en su entrada no inversora.

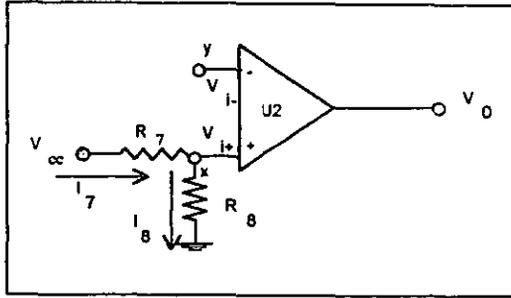


Figura 3.13. Circuito simplificado de la polarización de la terminal no inversora del amplificador operacional U₂.

La corriente I_7 a la entrada de la terminal no inversora será:

$$I_7 = \frac{5 \text{ VCD}}{R_7 + R_8} = \frac{5 \text{ VCD}}{200 \text{ k}\Omega} = 25 \mu\text{A}$$

La potencia disipada será:

$$P_{DR, I_7} = I_7^2 * R_7 = (25 \mu\text{A})^2 100 \text{ k}\Omega = 62.5 \mu\text{W}$$

Por lo que R_7 y R_8 se establecerán como resistencias de $100 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4} \text{ W}$. De manera similar se hará para las resistencias R_5 y R_6 mostradas en la figura 3.14.

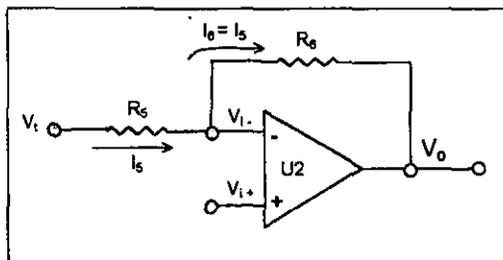


Figura 3.14. Circuito simplificado del voltaje de entrada a la terminal inversora del amplificador operacional U₂.

De la figura 3.14 se observa que el valor de la corriente que circula por R_5 y R_6 dependerá del voltaje generado en V_t y del voltaje de salida V_o del amplificador U_2 . Considerando que la temperatura es mínima tendremos que el voltaje $V_t = 4.622 VCD$, el cual es el valor máximo originado por la caída de voltaje en el termistor y sustituyendo valores en la ecuación 3.20 se tendrá que:

$$V_o = (5.0 - 4.622) VCD = 0.378 VCD$$

Del circuito de la figura 3.15 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$-V_t + R_5 I_5 + I_6 R_6 + V_o = 0 \quad (\text{Ec. 3.21.})$$

Considerando que las corrientes I_5 e I_6 son iguales:

$$I_5 (R_5 + R_6) = V_t - V_o \quad (\text{Ec. 3.22.})$$

Despejando I_5 de la Ec. 3.22:

$$I_5 = \frac{V_t - V_o}{R_5 + R_6} \quad (\text{Ec. 3.23.})$$

De la ecuación 3.23 se obtiene que la corriente I_5 a través de R_5 será:

$$I_5 = \frac{V_t - V_o}{R_5 + R_6} = \frac{4.622 VCD - 0.378 VCD}{200 k\Omega} = 21.2 \mu A$$

La potencia máxima que disiparán las resistencias será cuando la temperatura sea mínima o sea cuando se tenga el valor máximo de V_t a la entrada de U_2 , por lo tanto:

$$P_{DR_5} = I_5^2 * R_5 = (21.2 \mu A)^2 * 100 k\Omega = 45.0 \mu W$$

Luego entonces, los valores de las resistencias R_5 y R_6 serán de $100 k\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4} W$.

Otro de los elementos de esta etapa es el amplificador operacional U_2 y considerando: $V_{cc}=+12VCD$, $V_{in}=+5VCD$, se sugiere que el amplificador operacional LM747 es ideal ya que, además de cumplir ampliamente con los requerimientos, es un dispositivo comercial con dos amplificadores operacionales dentro del mismo C.I., uno de los cuales se utilizará para U_1 y el otro para U_2 .

En la figura 3.15 se muestra la integración de los circuitos que constituyen el módulo acondicionador de señales.

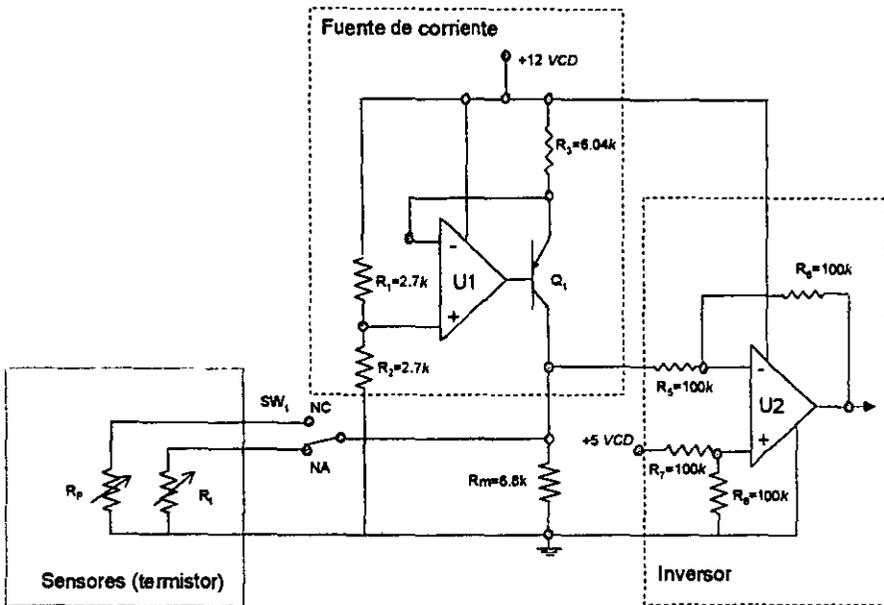


Figura 3.15. Módulo acondicionador de señales.

En la figura anterior se puede apreciar el *switch* SW_1 , cuya función es permitir al usuario seleccionar qué termistor se quiere utilizar; Así, el termistor R_p para medir la temperatura del paciente y R_t para la medición de la temperatura del recipiente de agua caliente. También es conveniente mencionar que se tendrá

otro circuito similar al de la figura 3.15 para la medición de la temperatura del agua fría, en donde se eliminará el *switch* SW₁.

Para finalizar el diseño de este módulo, en la figura 3.16 se muestra una gráfica en donde se puede apreciar la pendiente del voltaje del termistor V_t a la entrada de U₂ y el cambio de la pendiente del voltaje de entrada V_o al convertidor A/D del MCU.

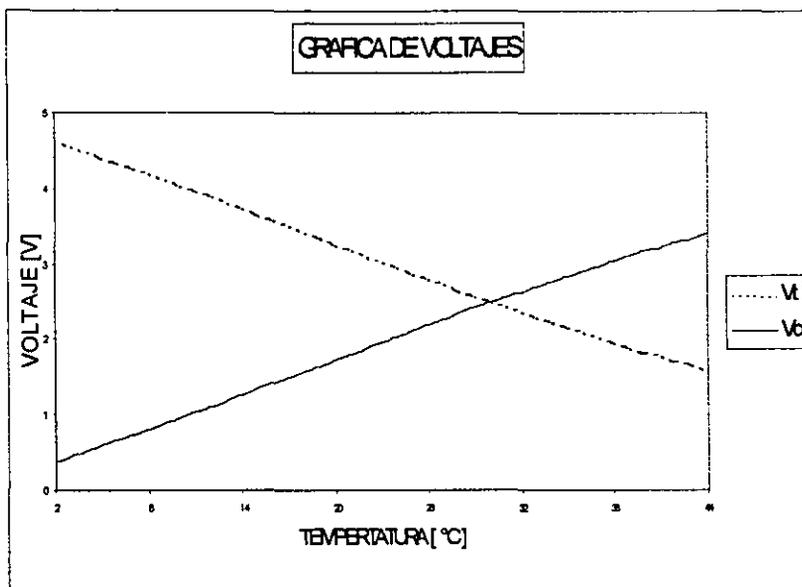


Figura 3.16. Gráfica comparativa de V_t y V_o

3.8 DISEÑO DEL MÓDULO DE *INTERFACE* CON EL USUARIO

Este módulo como ya se dijo anteriormente, por simplicidad se dividió en dos submódulos: el módulo de entradas y el módulo de salidas o despliegue.

Características: El submódulo de entradas debe ser capaz de poder enviar los siguientes requerimientos del usuario al módulo de control y procesamiento de datos:

1. Selección de la temperatura a controlar (paciente/recipiente de agua caliente).
2. Selección del proceso de calentamiento (*caliente*).
3. Selección del proceso de enfriamiento (*frío*).
4. Activación de la bomba.
5. Programación de la temperatura.
6. Incrementar la temperatura desplegada.
7. Disminuir la temperatura desplegada.

El submódulo de salidas o despliegue debe ser capaz de proporcionar la siguiente información al usuario:

1. Despliegue de temperatura de agua caliente.
2. Despliegue de temperatura de agua fría.
3. *Led* indicativo del estado de la bomba.
4. *Led* indicativo del estado del *heater* 1.
5. *Led* indicativo del estado del *heater* 2.
6. *Led* indicativo de si la temperatura del paciente es la que se va a controlar.
7. *Led* indicativo de si la temperatura del recipiente es la que se va a controlar.
8. *Led* indicativo del estado del nivel de agua en los recipientes.
9. *Led* indicativo de activación del proceso de calentamiento.
10. *Led* indicativo de activación del proceso de enfriamiento.

De todo lo anterior se observa que se tienen 7 señales de entrada, 10 señales de salida y señales para poder desplegar información en 4 indicadores de 7 segmentos.

Por estar estrechamente vinculado el diseño de este módulo con el de control y procesamiento de datos, en especial con la forma de introducir y obtener datos de éste último, así como con la asignación de terminales del microcontrolador que se seleccione, el diseño de ambos módulos se hará en forma "simultánea".

3.9 DISEÑO DEL MÓDULO DE PROCESAMIENTO DE DATOS Y CONTROL

Módulo de procesamiento de datos y control: Este módulo estará basado en un microcontrolador (MCU); en él las señales ya linealizadas provenientes de los termistores serán convertidas de analógico a digital para ser procesadas, y de ahí enviar las señales hacia el submódulo de despliegue de la *interface* con el usuario, además leerá las señales del submódulo de entradas, para efectuar las acciones de control necesarias para realizar lo que se le esté indicando.

a) Selección y características del microcontrolador

La elección del microcontrolador a utilizarse en el presente trabajo se fundamentó en los requerimientos del diseño, los cuales son:

- ◇ Convertidor A/D integrado con un mínimo de 2 canales y de 8 *bits* de resolución para proporcionar la exactitud necesaria.
- ◇ Puertos de entrada paralelos.
- ◇ Capacidad para manejar interrupciones externas.
- ◇ Bajo costo.
- ◇ Con amplia disponibilidad en el ámbito comercial en México.

- ◊ Bajo consumo de potencia.
- ◊ Suficiente memoria *EPROM* y *RAM*.
- ◊ Velocidad de procesamiento aceptable.

Se cuenta con varias opciones en el mercado entre las que destacan el MC68HC11 de *Motorola* y el PIC16C71 de *Microchip*, en los siguientes párrafos se enuncian las características principales de ambos microcontroladores.

MC68HC11: Dependiendo del modelo a utilizar, en general se tiene los siguiente para el modo expandido:

- Convertidor A/D de 8 bits.
- Puertos de entrada/salida paralelos y seriales.
- Capacidad de direccionar más de 8 kB de memorias *EPROM* y *RAM*.
- Bajo consumo de potencia.
- Maneja interrupciones externas.
- Relativo bajo costo.
- Amplia disponibilidad en el ámbito comercial.

PIC16C71: Solo puede ser utilizado en modo *on-chip* y en general cuenta con las siguientes características:

- Convertidor A/D de 8 bits.
- Puertos de entrada/salida paralelos.
- Memoria *EPROM* interna de 1 kB.
- 36 bytes de memoria *RAM*.
- Bajo consumo de potencia.
- Maneja interrupciones externas.
- Bajo costo.
- Amplia disponibilidad en el ámbito comercial.

Como puede observarse cualquiera de los dos puede ser utilizado en el

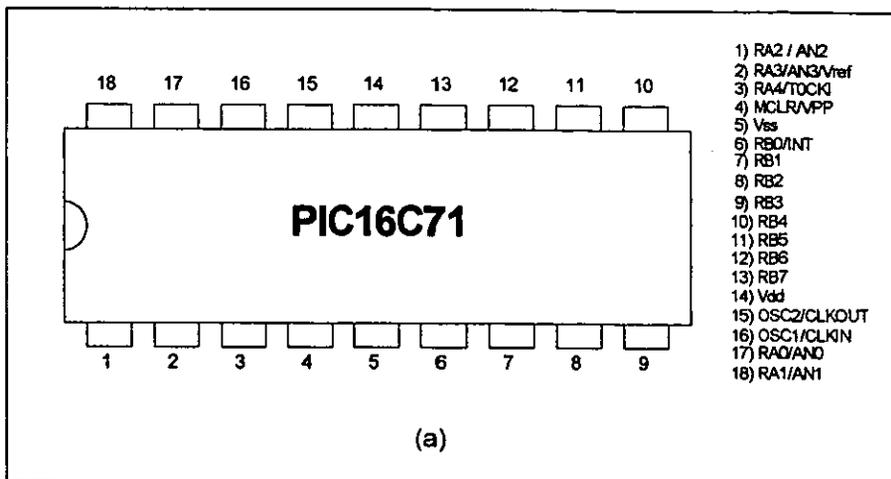
presente proyecto, pero en el caso del PIC16C71 de *Microchip Technology Inc.* se cuenta con su información, se posee el programa simulador, la tarjeta de diseño (programadora) y experiencia en el manejo del mismo, por tal motivo se utilizará en este proyecto.

A continuación se da una descripción del *MCU PIC16C71* como preámbulo al diseño de este módulo.

Es un microcontrolador de 8 *bits* de bajo costo y alto desempeño, con una arquitectura tipo *RISC (Reduced Instruction Set Computer)*, que al tener los *buses* de instrucciones y datos separados le permite tener instrucciones de hasta 14 *bits* con datos de 8 *bits* por separado; muchas de las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo, a excepción de las ramificaciones de programa las cuales requieren de dos. Adicionalmente un amplio conjunto de registros le da una de las innovaciones arquitectónicas que le permite lograr un alto desempeño.

El PIC16C71 es un microcontrolador que puede trabajar con una señal de reloj de hasta 20 *MHz*, 36 *bytes* en *RAM* y 1024 *bytes* de *EPROM*; cuenta con 2 puertos paralelos de entrada-salida, uno de 5 *bits* *PORTA* (RA0 a RA4) y otro de 8 *bits* *PORTB* (RB0-RB7), adicionalmente cuenta con un convertidor de 4 canales analógico-digital de 8 *bits*; trabaja con un voltaje de alimentación de 3 a 6 *VCD* y el consumo de potencia es relativamente bajo, 2*mA* a 5*VCD* y 4*MHz*. En la figura 3.17(a) se muestra el diagrama del encapsulado del microcontrolador y en la figura 3.17(b) se indica la distribución de terminales de éste.

Este microcontrolador, como se mencionó con anterioridad, tiene una arquitectura tipo *RISC*, que utiliza la arquitectura *Harvard*, en la cual el programa de control y los datos son accedidos desde *buses* separados. El hecho de que las instrucciones y los datos utilicen *buses* diferentes permite que las instrucciones tengan tamaños mayores a 8 *bits*.



Terminal	Nombre	Descripción
1	RA2/AN2	Entrada analógica 2
2	RA3/AN3/Vref	Entrada analógica 3, Voltaje de Referencia
3	RA4/T0CKI	Entrada analógica 4, también puede ser entrada para señal de reloj
4	MCLR/Vpp	Reset maestro / Voltaje de programación
5	Vss	Tierra para la lógica y terminales de Entrada/Salida
6	RB0/INT	Terminal 0 del puerto B / Interrupción externa
7	RB1	Terminal 1 del Puerto B
8	RB2	Terminal 2 del Puerto B
9	RB3	Terminal 3 del Puerto B
10	RB4	Terminal 4 del Puerto B
11	RB5	Terminal 5 del Puerto B
12	RB6	Terminal 6 del Puerto B
13	RB7	Terminal 7 del Puerto B
14	Vdd	Voltaje de alimentación para la lógica y terminales de E/S
15	OSC2/CLKOUT	Terminal de salida para el oscilador
16	OSC1/CLKIN	Entrada de oscilador externo.
17	RA0/AN0	Entrada analógica 0
18	RA1/AN1	Entrada analógica 1

(b)

Figura 3.17(a). Encapsulado, (b) Descripción de las terminales del microcontrolador.

En la figura 3.18 se muestra el diagrama a bloques del microcontrolador PIC16C71. Este dispositivo puede acceder de manera directa o indirecta los registros o datos en la memoria. Todos los registros de función especial incluyendo al contador de programa (*PC*) están mostrados en la memoria. Este microcontrolador contiene una unidad aritmética lógica (*ALU*) de 8 bits, la cual ejecuta operaciones aritméticas y *Booleanas*. A menos que se especifique otra cosa las operaciones aritméticas se llevan a cabo por complemento a dos.

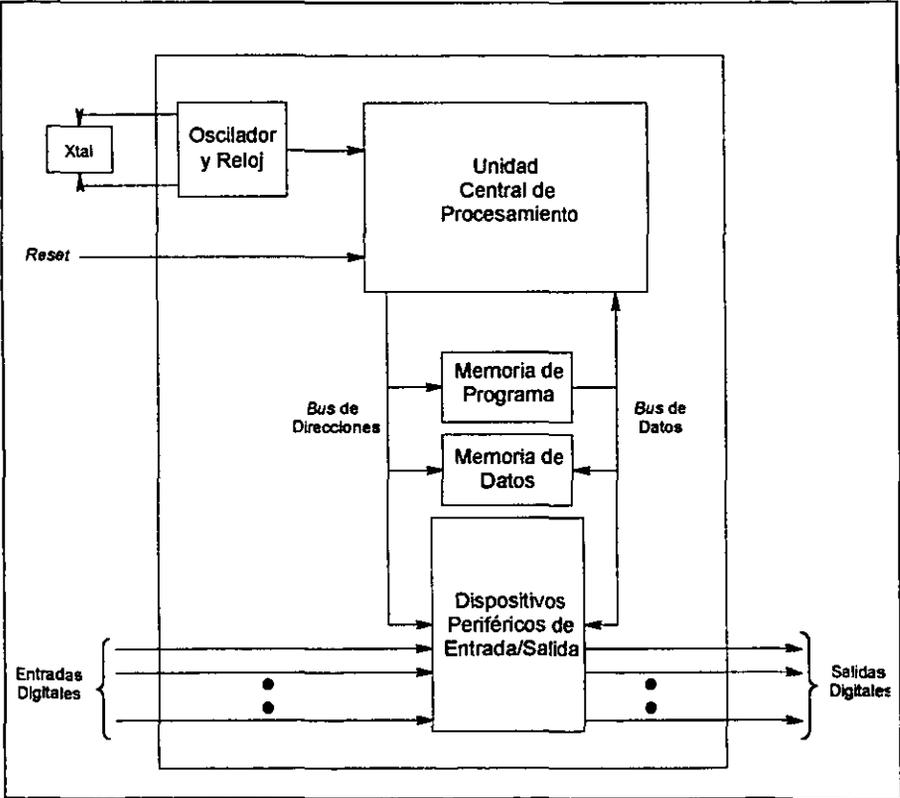


Figura 3.18. Diagrama general de bloques del microcontrolador PIC16C71.

El *MCU* PIC16C71 tiene dos tipos de memoria, como se muestra en la

figura 3.18; la memoria *EPROM*, que almacena el programa de control, y la memoria *RAM*, que se utiliza para las variables del programa y los registros de uso especial.

Consta también de dos puertos bidireccionales de entrada-salida (*PORTA* y *PORTB*), permitiendo con esto al microcontrolador leer del puerto o escribir al puerto dependiendo del estado del *bit* de control en el registro *TRISA* o *TRISB*. El puerto A tiene un ancho de 5 *bits* mientras que el puerto B cuenta con un ancho de 8 *bits*.

El convertidor analógico-digital tiene una resolución de 8 *bits* y cuenta con 4 terminales de entrada, las cuales son conmutadas en una de muestreo y otra de retención. La salida del muestreo y retención es la entrada al convertidor el cual genera el resultado de la conversión vía el método de aproximaciones sucesivas. El voltaje analógico de referencia puede ser seleccionado del voltaje de alimentación del dispositivo, terminal 14 (*Vdd*), ó del nivel de voltaje en la terminal 2 (*RA3/AN3/Vref*).

La velocidad máxima de operación manejable provista por un oscilador externo es de 20 *MHz*. Internamente esta señal es dividida para generar cuatro señales de reloj defasadas entre sí (*Q1*, *Q2*, *Q3* y *Q4*) como se muestra en la figura 3.19. El contador de programa cambia cada vez que inicia *Q1*, esto es una vez completados cada uno de los cuatro pulsos.

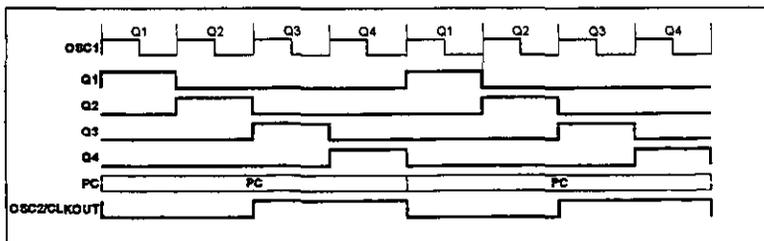


Figura 3.19. Diagrama del ciclo de reloj.

En la figura 3.20(a) se indica la interrelación entre el contador de programa (*PC*), el *stack* y la memoria *EPROM*. La memoria *EPROM* tiene una longitud de 1024 bytes, el *stack* tiene la función de guardar el valor del contador de programa cada vez que se presenta una instrucción *CALL*, *RETURN*, *RETFIE* o *RETLW* y este *stack* no está accesible para el usuario. En la figura 3.20(b) se muestra la organización de la memoria *RAM*.

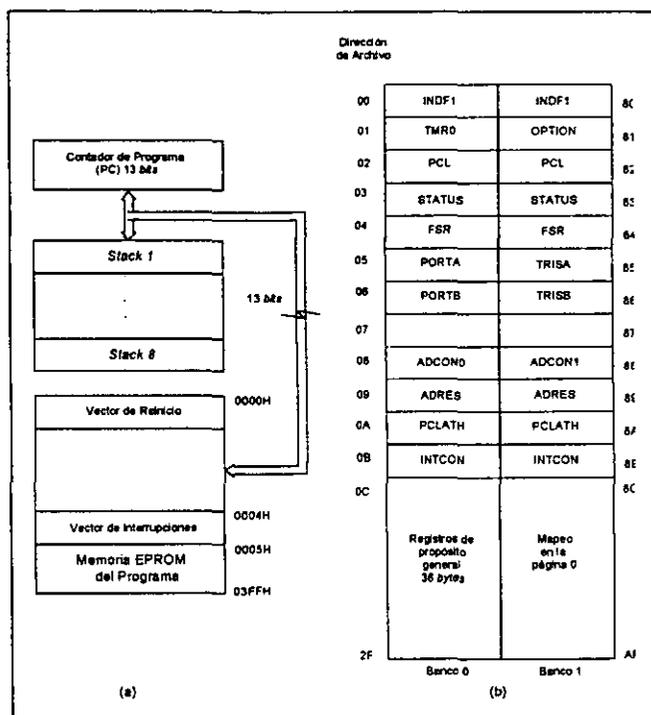


Figura 3.20(a). Mapa de memoria *EPROM* y *STACK*; (b) Mapa de memoria *RAM*.

La memoria *RAM* está particionada en dos bancos: el banco 0 de 47 bytes, en el cual se encuentran los registros para funciones especiales y los

registros de propósito general. Los primeros 11 *bytes* de cada banco están reservados para los registros de funciones especiales y en los 36 *bytes* siguientes están los registros de propósito general. El banco 1 cuenta también con 47 *bytes* en donde los primeros 11 *bytes* están asignados para funciones especiales y los 36 *bytes* restantes para el mapeo en la página 0. El direccionamiento de un banco u otro está controlado por los *bits* 6 y 7 del registro de *STATUS*.

Después de haber indicado las características y estructura general del *MCU* se procederá a diseñar el módulo de procesamiento y control de datos.

Señal reloj del MCU PIC16C71

Se desea tener una velocidad de operación de 2 *MHz* para tener una buena frecuencia de muestreo de las temperaturas, y por lo ya mencionado anteriormente, para lograrlo se necesita un oscilador externo de 8 *MHz*. Considerando lo anterior y una alimentación $V_{cc} = +5VDC$ se tendrá un consumo máximo de corriente $I_{cc} = 15 \mu A$.

Para el *MCU PIC16C71* existen 4 modos de operación del oscilador de cristal externo:

- LP: Cristal de baja potencia.
- XT: Cristal resonador.
- HS: Cristal resonador de alta velocidad.
- RC: Resistor - Capacitor.

En los modos XT, LP o HS se debe utilizar un cristal o un resonador cerámico conectado a las terminales OSC1 y OSC2 para poder establecer la oscilación. El oscilador debe ser un cristal de corte paralelo para obtener la oscilación deseada. De acuerdo a las especificaciones del manual del fabricante se recomienda utilizar la configuración de la figura 3.21.

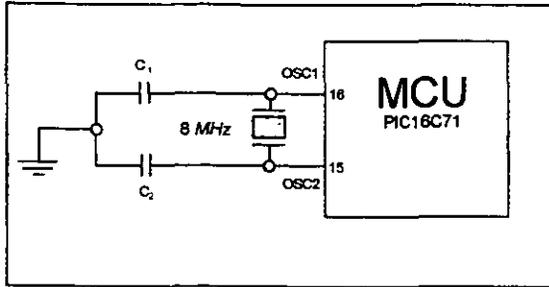


Figura 3.21. Circuito oscilador del microcontrolador.

Para los valores C_1 y C_2 mostrados en la figura 3.21 son los recomendados por el fabricante y se muestran en tabla de la figura 3.22.

Resonadores cerámicos			
Modo	Frecuencia	OSC1	OSC2
XT	455 KHz	68 - 100 pF	68 - 100 pF
	2.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
	4.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
HS	8.0 MHz	10 - 68 pF	10 - 68 pF
	16.0 MHz	10 - 22 pF	10 - 22 pF
Cristal			
Modo	Frecuencia	OSC1	OSC2
LP	200 KHz	15 - 47 pF	15 - 47 pF
XT	100 KHz	47 - 100 pF	47 - 100 pF
	500 KHz	20 - 68 pF	20 - 68 pF
	1.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
	2.0 MHz	15 - 47 pF	15 - 47 pF
	4.0 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
HS	8.0 MHz	15 - 47 pF	15 - 47 pF
	16.0 MHz	15 - 47 pF	15 - 47 pF

Figura 3.22. Tabla comparativa entre valores de oscilación del PIC16C71.

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla anterior se podrá elegir un oscilador de XTAL con los capacitores $C_1 = C_2 = 47 \text{ pF}$ oscilando en el modo HS (High Speed) a 8 MHz.

Circuito de reset

El reset de encendido (Power-on reset \overline{POR}) para el MCU consiste en un pulso precisamente de reset que se genera internamente cada vez que el voltaje de la terminal V_{DD} del MCU se encuentra en un nivel de voltaje de 1.6 a 1.8 VCD. Otra manera de reinicializar al MCU se puede llevar a cabo si se conecta la terminal \overline{MCLR} directamente o través de una resistencia a V_{DD} (+5 VCD); o bien, se puede utilizar un componente RC que origine la señal de reset externa mediante un interruptor pulsátil para un reset externo cada vez que se desee. En la figura 3.23 se muestra el circuito de reset tanto de inicio como externo.

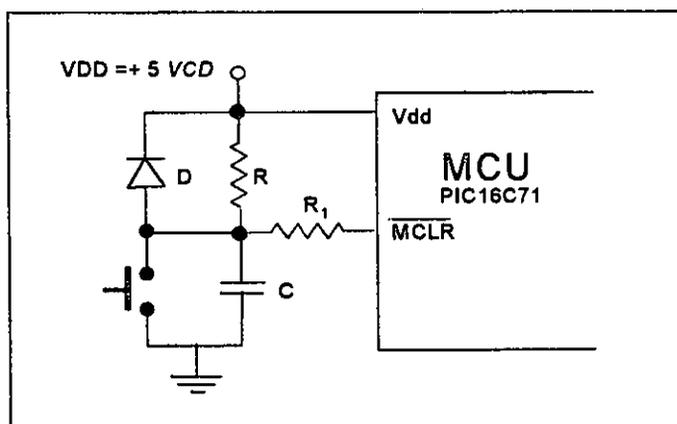


Figura 3.23. Circuito de reset de inicio y externo.

El diodo D ayuda a descargar el capacitor C rápidamente al cortarse la alimentación V_{DD} . El fabricante recomienda que el valor de $R < 40 \text{ k}\Omega$ con el

objeto de asegurar que la caída de voltaje a través de R no exceda 0.2 VCD (la máxima corriente de fuga especificada en la terminal \overline{MCLR} es de 5 μA). Una caída de voltaje mayor a este valor degradaría el nivel de V_{IH} en la terminal referida. Así mismo, se recomienda un valor para R_1 entre 100 Ω y 1 $k\Omega$ de tal forma que limite el flujo de corriente a través de \overline{MCLR} desde el capacitor C en la eventualidad que exista una ruptura en la terminal \overline{MCLR} . Si se elige una resistencia $R_1 = 1 k\Omega$ la potencia disipada será:

$$P_R = \frac{V^2}{R} = \frac{5^2}{1,000} = 25 mW$$

$$P_{R1} = R_1 * I^2 = 10 k\Omega * 5^2 \mu A = 25 nW$$

Se usarán las resistencias $R = 10 k\Omega \pm 5\%$ y $R_1 = 1 k\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4}$ de W para asegurar el inicio del MCU.

b) Asignación de funciones a las terminales del MCU

Las señales que deberá poder manejar el módulo de control y procesamiento de datos serán las que a continuación se enuncian, divididas en entradas y salidas:

Entradas:

1. Señal analógica de la temperatura de agua caliente.
2. Señal analógica de la temperatura de agua fría.
3. Selección de la temperatura a controlar (paciente/recipiente de agua caliente).
4. Selección del proceso de calentamiento (*caliente*).
5. Selección del proceso de enfriamiento (*frío*).
6. Activación de la bomba.
7. Programación de la temperatura.
8. Incrementar la temperatura desplegada.
9. Disminuir la temperatura desplegada.

Salidas:

1. Despliegue de temperatura de agua caliente.
2. Despliegue de temperatura de agua fría.
3. Activación de las válvulas solenoides de agua caliente.
4. Activación de las válvulas solenoides de agua fría.
5. Activación de *heater* #1.
6. Activación de *heater* #2.
7. Activación de la bomba.
8. *Led* indicativo del estado de la bomba.
9. *Led* indicativo del estado del *heater* 1.
10. *Led* indicativo del estado del *heater* 2.
11. *Led* indicativo de si la temperatura del paciente es la que se va a controlar.
12. *Led* indicativo de si la temperatura del recipiente es la que se va a controlar.
13. *Led* indicativo del estado del nivel de agua en los recipientes.
14. *Led* indicativo de activación del proceso de calentamiento.
15. *Led* indicativo de activación del proceso de enfriamiento.

De acuerdo al número de entradas y salidas enumeradas y de acuerdo a las entradas y salidas disponibles en el *MCU* se puede deducir que las primeras exceden por mucho a las segundas. Primeramente se procederá a asignar una terminal del *MCU* para las señales analógicas de temperatura quedando de la siguiente forma:

Terminal	Señal correspondiente
RA0	Temperatura del recipiente de agua caliente o del paciente.
RA1	Temperatura del recipiente de agua fría.

La señal de entrada de control que sirve para seleccionar qué temperatura va a ser la que se vaya a controlar, si la del recipiente de agua caliente o la del paciente, se decidió no introducirla al *MCU* ya que puede ocuparse directamente y

realizar la selección mediante un interruptor SW_1 de dos tiros y un polo. Al accionar el interruptor SW_1 , se selecciona una de estas dos señales, las cuales son enviadas al módulo acondicionador de señales y de ahí a la terminal RA0 del *MCU*, como se observa en la figura 3.24. La señal del termistor proveniente del recipiente de agua fría entra directamente al módulo acondicionador de señales y posteriormente se acopla a la terminal RA1 del *MCU*.

Para solucionar lo referente a las 6 entradas de control faltantes, se pensó en un arreglo combinacional en colaboración con el *MCU*, en el que sólo se utilizarán 3 botones para suministrar las señales correspondientes a:

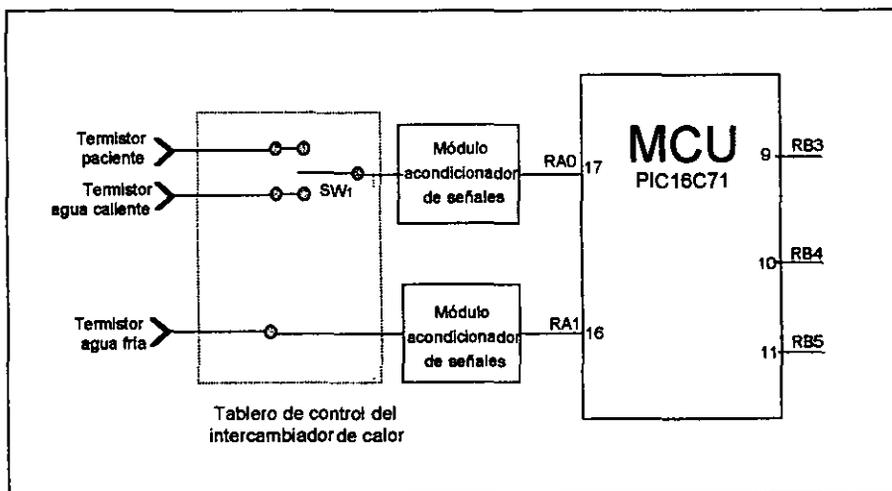


Figura 3.24. Señales de entrada de temperatura al *MCU*.

- ◇ Selección de modo "caliente".
- ◇ Selección de modo "frío".
- ◇ Activación del modo "programar".
- ◇ Incrementar la temperatura desplegada.
- ◇ Decrementar la temperatura desplegada.

◊ Encendido/apagado de la bomba.

Los botones a utilizar tendrán la siguiente denominación:

[↑ / H], [↓ / C] y [Programar/Bomba].

El uso de dichas teclas se llevará al cabo de la siguiente manera:

- *Selección de modo caliente.* La forma en que el usuario le indicará al *MCU* que desea el modo *caliente* es presionando simultáneamente las teclas [↑ / H] y [Programar/Bomba].
- *Selección de modo frío.* La forma en que el usuario le indicará al *MCU* que desea el modo *frío* es presionando simultáneamente las teclas [↓ / C] y [Programar/Bomba].
- *Activación del modo programar.* Debido a que sólo se controlará la temperatura en el modo *caliente* y es sólo en este modo donde se utilizará la señal de *programar*, se decidió que con la misma combinación de teclas se activen estas dos señales, pero con la diferencia de que la señal de modo caliente siempre permanecerá activa hasta que se seleccione el modo frío y la señal de programar sólo estará activa por un tiempo mínimo de 2 segundos y su duración dependerá del tiempo que el usuario se encuentre presionando las teclas de [↑ / H] o [↓ / C], según desee incrementar o disminuir la temperatura desplegada hasta alcanzar la temperatura que se desea programar.
- *Incrementar la temperatura desplegada.* Para lograr esto, el usuario deberá primero seleccionar el modo *programar* y esperar a que el *led* de *programar* se encienda, una vez cumplido lo anterior el usuario deberá presionar la tecla [↑ / H] antes de 2 segundos y mantenerla presionada en tanto se deseen incrementar los datos desplegados.

- *Decrementar la temperatura desplegada.* Esto se logra realizando un procedimiento similar al del punto anterior pero ahora presionando la tecla [↓/C].
- *Encendido/apagado de la bomba.* El encendido o apagado de la bomba se realizará presionando la tecla denominada [Programar/Bomba] y la acción que realice el *MCU* dependerá del estado en que se encuentre la bomba, es decir, si la bomba está encendida la acción que se realice será apagarla y viceversa; el estado de la bomba podrá observarse en su *led* correspondiente.

Las terminales del *MCU* designadas para las tareas anteriores se presentan a continuación y su forma de conexión se muestra en la figura 3.25.

Terminal	Señal correspondiente
RB0/INT	<i>Programar / Bomba.</i>
RB1	↑ / H
RB2	↓ / C

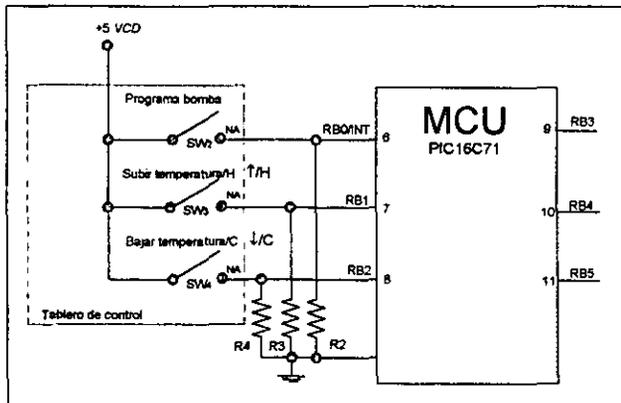


Figura 3.25. Circuito de entradas de control al *MCU*.

Los valores de R_2 , R_3 y R_4 se pueden calcular fácilmente del circuito mostrado anteriormente; como puede apreciarse el arreglo de interruptores SW_2 , SW_3 y SW_4 son normalmente abiertos, tipo *push-button* y una de sus terminales está conectada permanentemente a la fuente de alimentación de +5VCD. Para este tipo de arreglo encontramos interruptores que pueden operar perfectamente con una corriente máxima $I_{m\acute{a}x} = 10 \text{ mA}$ y dado que $SW_2=SW_3=SW_4$ se podrá considerar, para efectos prácticos, que sólo el 50% de la corriente máxima circulará por cada uno de los interruptores. Entonces se puede establecer que:

$$I_{sw_2} = I_{sw_3} = I_{sw_4} = I_{m\acute{a}x} (50\%) = 10 \text{ mA} * 0.5 = 5 \text{ mA}$$

De donde:

$$R_2 = R_3 = R_4 = \frac{V_{cc}}{I_{m\acute{a}x}(50\%)} = \frac{5 \text{ VCD}}{5 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega$$

y la potencia de disipación por cada una de las resistencias será de:

$$P_{s_2} = P_{s_3} = P_{s_4} = I_{sw_2}^2 * R_1 = (0.005 \text{ A})^2 * 1 \text{ k}\Omega = 25 \text{ mW}$$

De los resultados obtenidos se concluye que es conveniente utilizar resistencias $R_2=R_3=R_4$ con valor comercial de $1 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4} \text{ W}$. Estas resistencias tienen como función estabilizar el nivel de voltaje a las entradas RBO/IN, RB1 y RB2 del *MCU* al estar a tierra cuando ninguno de los interruptores es activado.

Se ha completado el diseño de la etapa de entrada de datos al *MCU*, se continuará con el diseño de los elementos que proporcionarán la etapa de salida y controles y posteriormente se llevará a cabo el desarrollo del programa de control del *MCU*

Para el despliegue de las temperaturas en los 4 *displays* y dado que se necesitaba utilizar la menor cantidad de líneas posible, se optó por transmitir los datos de las temperaturas a desplegar en forma serial; ya que el *MCU* no posee un puerto de salida serial, se tuvo que implementar uno con tres líneas y auxiliados con una rutina de salida serial, la cual se incluirá como parte del *software*. Las terminales asignadas para esta tarea serán:

Terminal	Señal correspondiente
RB3	Datos
RB4	Reloj (<i>CLK</i>)
RB5	<i>Reset</i>

Las cuales se conectarán a un convertidor serie/paralelo como se muestra en la figura 3.26 y la explicación de su operación se enuncia en los siguientes párrafos.

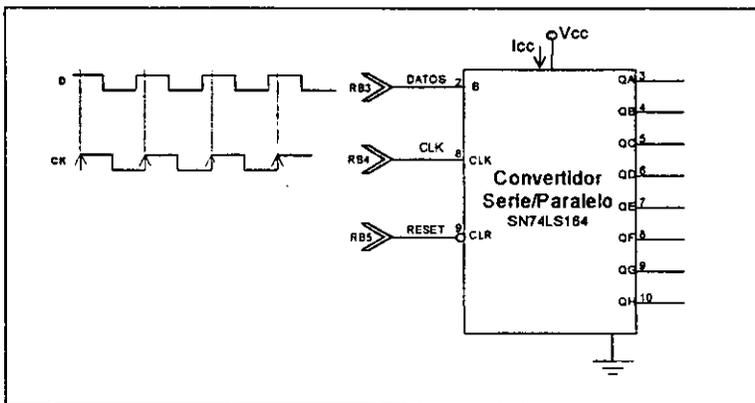


Figura 3.26. Forma de conexión del *MCU* al convertidor serie/ paralelo.

La rutina de transmisión serial, la cual denominaremos *TX_SERIE* va a leer *bit* por *bit* los datos almacenados en los registros temporales del programa dentro

del *MCU* y transmitirlos en forma serial uno a la vez al convertidor serie/paralelo, va a generar la señal de reloj necesaria para sincronizar al convertidor serie/paralelo con la salida de los datos y así mismo la señal para habilitar a dicho convertidor (*CLR*), el convertidor que se utilizará será el SN74LS164 de la familia *TTL*. Este convertidor ingresa los datos en cada flanco positivo de la señal reloj y demanda una corriente máxima de 0.4 mA , cuando sus entradas se encuentran a un nivel bajo siendo su frecuencia máxima de operación de 36 MHz . Los datos transmitidos por la rutina *TX_SERIE* tienen una duración en tiempo determinado por el número de ciclos de reloj para cada instrucción dentro de esta subrutina. En las figuras 3.27(a) y 3.27(b) se muestran los diagramas de tiempo resultantes para dato uno y dato cero, respectivamente, a través de la terminal RB3 cada vez que la subrutina se ejecuta. El número de ciclos se refiere al número de ciclos de máquina que ejecuta el *MCU* para cada instrucción.

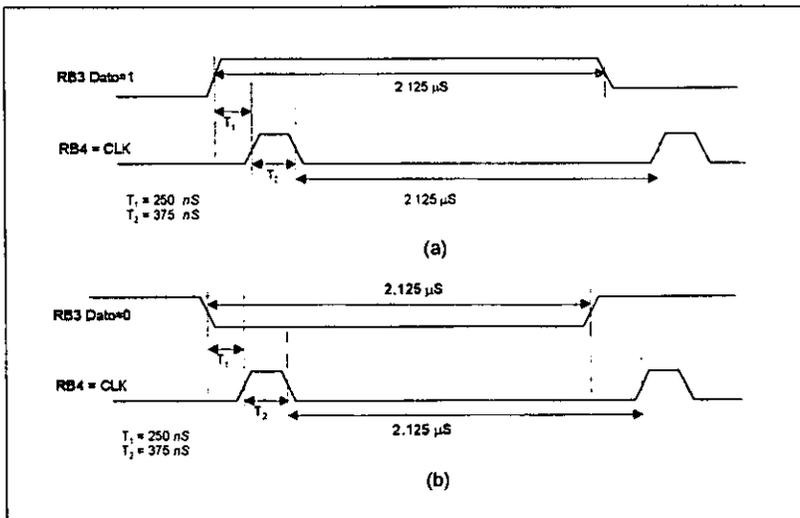


Figura 3.27(a). Relación de la señal de datos y *CLK* para estado uno;
 (b) Relación de la señal de datos y *CLK* para estado cero.

Como se ha mencionado con anterioridad, el *MCU* va a operar a una frecuencia máxima de oscilación de 8 MHz (2 MHz de reloj interno) y de acuerdo a las especificaciones del fabricante, lo que implica un buen margen en términos de velocidad de transmisión de datos.

Una vez que los datos a desplegar ya se encuentran en las terminales de salida del convertidor, donde las 4 primeras líneas contendrán el valor correspondiente a las decenas y las 4 restantes el de las unidades, en ambos casos en código *BCD*, éstos serán direccionados a su correspondiente *display* (despliegue de temperatura fría o caliente), por medio del circuito mostrado en la figura 3.28, en donde las salidas del convertidor serie/paralelo se mandan a un *latch*, con la finalidad de que éste último sólo permita el paso de los datos hacia los convertidores *BCD* a 7 segmentos, cuando la palabra transmitida (dato) por el *MCU* al serie/paralelo esté completa, es decir, que cada *bit* se encuentre ya en la terminal de salida que le corresponda, después las salidas de cada convertidor *BCD* a 7 segmentos se conectarán a un *display*.

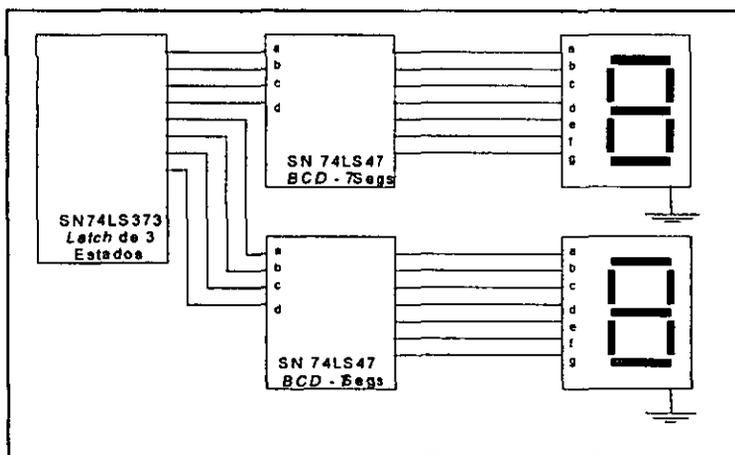


Figura 3.28. Circuito de salida de *displays*.

Es conveniente decir que se utilizará un arreglo de un *latch* y un convertidor *BCD* a 7 segmentos como el anteriormente descrito para cada temperatura a desplegar (fría y caliente), y que las señales de habilitación de cada *latch* provendrán del *MCU*, destinándose para ese fin una terminal de salida por cada *latch*, y éstas actuarán en forma complementaria. Las asignaciones de las terminales del *MCU* responsables de estas funciones quedaron de la siguiente manera:

Terminal:	Señal correspondiente:
RB6	LE_DISPLAY_C
RA4	LE_DISPLAY_H

En el diseño se busca facilitar la lectura de los datos al perfusionista, por lo cual se van a utilizar *displays* de 7 segmentos de 0.8" de tamaño; debido a lo anterior se seleccionó el *display* No. NTE3082, que es un indicador luminoso de 7 segmentos, ánodo común, con punto decimal a la derecha y cuyo circuito equivalente se muestra en la figura 3.29(a), así como su forma de conexión en la figura 3.29(b).

Por datos de fabricante del *display*, se tiene que la corriente I_s máxima es de 30 *mA* por cada segmento, luego entonces el consumo de potencia de los 7 segmentos que debe manejar el convertidor de *BCD* a 7 segmentos será:

$$P_p = V_{cc} * (7 * I_s) = 5V_{CD} * (7 * 30 \text{ mA}) = 1.05 \text{ W}$$

Así mismo, el fabricante recomienda que un valor óptimo de corriente de operación por segmento es de $I_{SOP} = 20 \text{ mA}$.

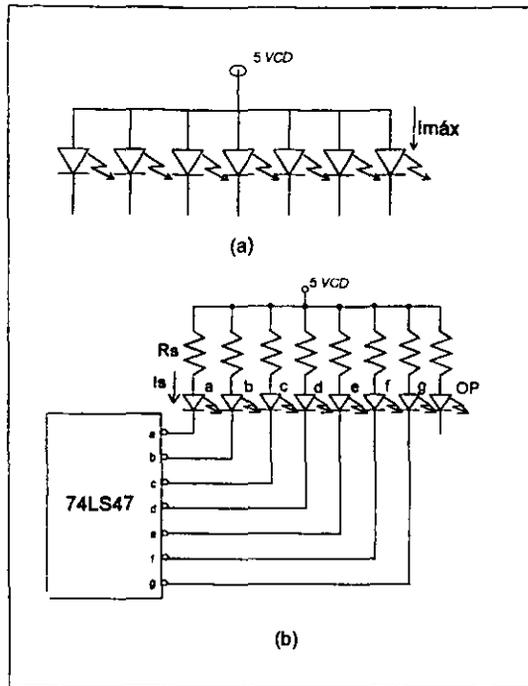


Figura 3.29(a). Circuito equivalente del *display* de 7 segmentos NTE3082;
 (b). Circuito de encendido del *display* de 7 segmentos.

El circuito integrado 74LS47 tiene una capacidad de carga de 15 *U.L.* (*U.L.*= unidades de carga *TTL*) en estado bajo a la salida, esta característica nos permite activar los indicadores con corrientes máximas por segmento no mayores a: 1 *U.L.* (I_{BAJO})=1.6 *mA*; así mismo, de los datos del fabricante se obtiene que la corriente de salida $I_{o(on)}=15 \text{ U.L.} = 15 \cdot (1.6 \text{ mA/U.L.}) = 24 \text{ mA}$. Dado que la corriente de salida en estado alto $I_{o(on)} > I_{sop}$ el 74LS47 cumple con los requerimientos para activar este tipo de *display*.

Para cumplir con la condición de la corriente de los segmentos $I_s=20 \text{ mA}$ se debe calcular el valor de la resistencia R_s por segmento. De la figura 3.29(b) se

tiene:

$$I_S = \frac{V_{CC} - V_{led}}{R_S} \quad (\text{Ec. 3.24.})$$

Despejando R_S y sustituyendo valores se obtiene:

$$R_S = \frac{V_{CC} - V_{led}}{I_S} = \frac{5.0V_{CD} - 0.7V_{CD}}{0.02A} = 215\Omega$$

Analizando este valor se tiene que en el mercado existen resistencias de valores comerciales de 220Ω . Luego, la corriente que circulará, utilizando estos valores de resistencias, es:

$$I_{S_{\text{max}}} = \frac{V_{CC} - V_D}{R_S} = \frac{(5 - 0.7)V_{CD}}{220\Omega} = 19.54mA$$

Lo que satisface prácticamente nuestro requerimiento. La disipación de potencia que se tendrá con el uso de esta R_S será de:

$$P_{d_{R_S}} = (19.54mA)^2 * 220\Omega = 84mW$$

Por lo tanto, se va a utilizar una resistencia R_S con las siguientes características: $220\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4}W$. Este valor de R_S se utilizará para todas las resistencias del arreglo mostrado en la figura 3.29(b), R_{3a} hasta R_{3g} .

Las mismas consideraciones se harán para calcular las resistencias de todos los indicadores luminosos, ya que utilizan la misma configuración. Hasta este punto del diseño del módulo de procesamiento de datos y control se tienen disponibles todavía 3 terminales de salida del *MCU* y faltan por generar 13 señales de salida.

Para la activación de las válvulas solenoides del agua caliente y del agua fría, se utilizará una sola terminal de salida del *MCU*, la cual activará dichas válvulas en forma complementaria, es decir, cuando se activen las correspondientes al agua caliente, las del agua fría serán desactivadas y viceversa; lo anterior se logra simplemente haciendo una derivación a la señal de salida de la terminal que se elija para esta función y hacerla pasar por un inversor, como se muestra en la figura 3.30.

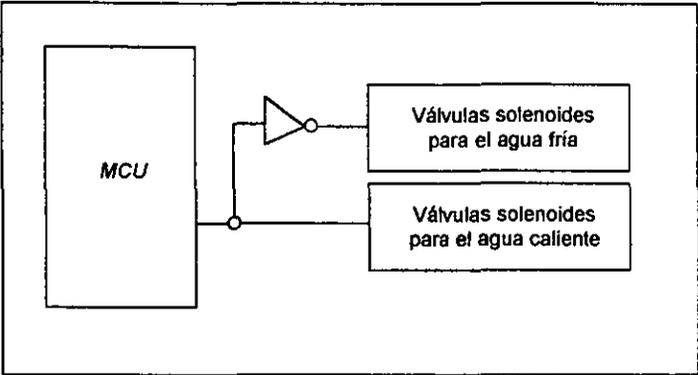


Figura 3.30. Control de las válvulas solenoides.

Se eligieron válvulas solenoides de dos vías a 115 VCA y 60 Hz por ser las más comerciales, pero debido a que dichas válvulas necesitan de un voltaje alterno y mayor potencia de la que pueden suministrarles el *MCU* o el inversor, se hace necesaria una etapa de potencia en la que habrá un elemento para aislar la etapa de control del voltaje de línea que se suministrará a cada válvula. El circuito de potencia será un relevador de estado sólido, el cual será controlado por un circuito para suministrarle a dicho dispositivo el voltaje y corriente necesarios para su funcionamiento. La configuración seleccionada se presenta en la figura 3.31.

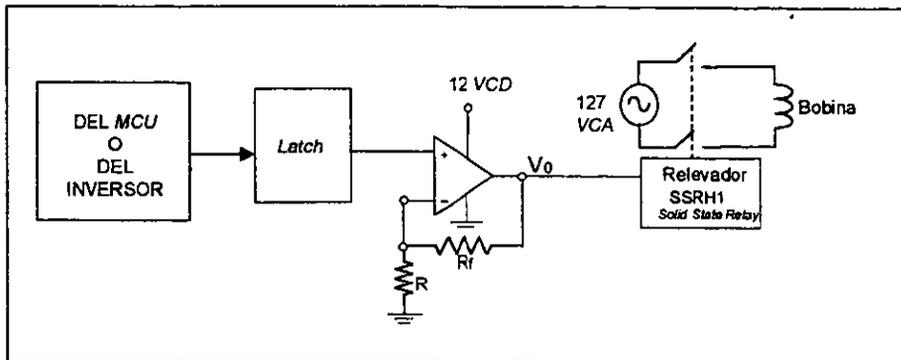


Figura 3.31. Circuito para la activación de las bobinas solenoides.

En cuanto al cálculo de la corriente de consumo por las bobinas de las válvulas solenoides se debe considerar que tienen una potencia de disipación de 11 Watts (valor proporcionado por el fabricante) y de donde la potencia real:

$$P_D = V_{AC} * I \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P_D}{V_{AC}} = \frac{11 W}{127 VCA} = 0.0866 A$$

En el mercado existen muchas marcas de fabricantes de relevadores de estado sólido, los cuales manejan un estándar en tamaños físicos, terminales de conexión, tipos y valores de voltajes de entrada (activación) y de salida (potencia). De entre esta gama se eligió la marca CRYDOM, la cual es ensamblada en México y es relativamente económica; en esta marca encontramos una línea que maneja voltajes desde 3 hasta 32 de VCD como entradas de control. Tomando en cuenta que se requiere de un voltaje de disparo de 3 a 32 VCD, en la figura 3.32 se muestra un circuito general para activar a los relevadores de estado sólido.

Cuando a la salida del latch se tenga un "uno" lógico, se deberá producir a la salida del amplificador operacional un voltaje de entre 3 y 32 VCD (por simplicidad se ha elegido que sea de 10.0 VCD) el cual es requerido para disparar

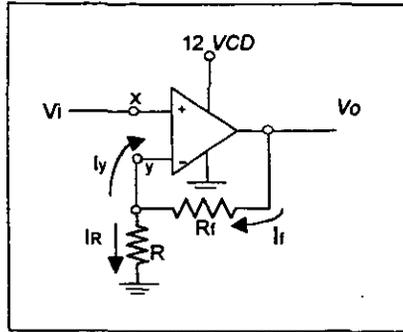


Figura 3.32. Circuito amplificador para activar los relevadores de estado sólido.

los relevadores de estado sólido. Dado que se utilizará un *latch* tipo *TTL*, el voltaje máximo en cualquiera de sus salidas será de 5.0 VCD, y por lo tanto el arreglo con el operacional tendrá que calcularse para proveer una ganancia de 2.

Para obtener la relación de ganancia de voltajes de salida V_o / V_i del amplificador operacional se tienen las siguientes relaciones:

$$I_F = I_y + I_R \quad (\text{Ec. 3.25.})$$

$$V_y = I_R * R \quad (\text{Ec. 3.26.})$$

$$V_y = V_x \quad (\text{Ec. 3.27.})$$

$$V_o = R_f I_F + I_R R \quad (\text{Ec. 3.28.})$$

$$V_i = V_x = V_y \quad (\text{Ec. 3.29.})$$

Sustituyendo la ecuación 3.29 en la ecuación 3.26 se obtiene:

$$V_i = I_R R \quad (\text{Ec. 3.30.})$$

Despejando, la corriente I_R que pasa por la resistencia R será:

$$I_R = \frac{V_i}{R} \quad (\text{Ec. 3.31.})$$

Dado que la entrada al operacional tiene una impedancia muy alta, es válido considerar que la corriente de entrada $I_y = 0$. Sustituyendo este valor en la ecuación 3.25, resulta:

$$I_F = 0 + I_R$$

sustituyendo esta relación en la ecuación 3.28, el voltaje de salida V_o del operacional U_{32} es:

$$V_o = I_R(R + R_F) \quad (\text{Ec. 3.32.})$$

sustituyendo la ecuación 3.31 en la ecuación 3.32, se tiene:

$$V_o = \frac{V_i}{R}(R + R_F) = \frac{V_i R}{R} + \frac{V_i R_F}{R} = V_i \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \quad (\text{Ec. 3.33.})$$

Analizando esta última ecuación se observa que igualando los valores de las resistencias $R_F = R$ se tiene una ganancia de 2. De ahí que se puedan elegir resistencias con valor comercial de $1 \text{ k}\Omega$. Con esta consideración se podrá calcular la corriente que circula por las resistencias R y R_F , así como la potencia de disipación de las mismas. Despejando de la ecuación 3.32, dado que la corriente que circula por la resistencia R_F es la misma que pasa por R , se tendrá:

$$I_F = I_R = \frac{V_o}{R + R_F} = \frac{10 \text{ VCD}}{2,000 \Omega} = 5 \text{ mA}$$

$$P_{DRF} = I_{RF}^2 R_F = (0.005 \text{ A})^2 * 1000 \Omega = 25 \text{ mW}$$

Por lo tanto, para esta parte del circuito los valores de las resistencias R y R_F serán de $1 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4} \text{ W}$. La terminal asignada para esta función será:

Terminal	Señal correspondiente
RA3	Activación de las válvulas solenoides.

Respecto a las señales de salida restantes se utilizará el mismo puerto serial implementado para desplegar las temperaturas, pero se utilizará otro

convertidor serie/paralelo y un *latch*, los cuales estarán destinados para la recepción y envío de la señal de activación de la bomba, de la activación del *heater 1*, de la activación del *heater 2*, de la activación del *led* de programar y de la señal Caliente / Frío, la cual servirá para activar en forma complementaria a los *leds* indicativos de si el proceso a realizar es de calentamiento o enfriamiento. El arreglo del convertidor serie/paralelo y el *latch* funcionarán de manera similar al utilizado para desplegar las temperaturas.

En la figura 3.33 se muestra la distribución de la señal de *CLEAR* proveniente del *MCU* para ser aplicada a los convertidores serie/paralelo, tanto al de datos como al de salidas varias o de control, los cuales funcionarán en forma complementaria, es decir, cuando se quiera enviar datos a los *displays*, se activará el convertidor serie/paralelo de datos poniendo un uno lógico en su entrada de *clear* y se deshabilitará el convertidor serie/paralelo correspondiente a las salidas varias poniendo un cero en su entrada de *clear*, lo anterior se logra con una sola línea en forma similar a la utilizada en la activación de las válvulas solenoides.

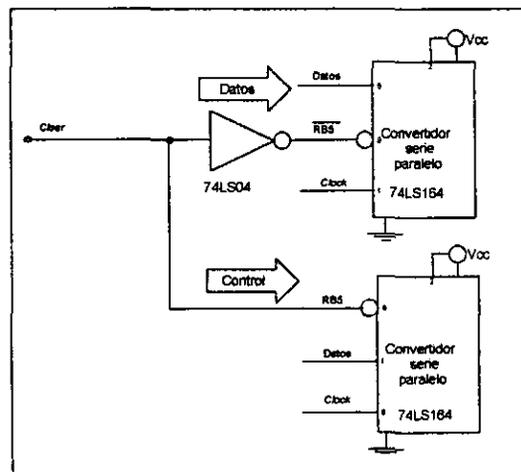


Figura 3.33. Circuito de *reset* para los convertidores serie/paralelo.

La habilitación de los *latch* de datos, para los *displays* y del *latch* de salidas varias se realizará utilizando una terminal de salida del *MCU* para cada uno. La asignación de las terminales de salida para las señales de habilitación de los circuitos *latch* serán:

Terminal	Señal correspondiente
RA4	DISPLAY DE TEMPERATURA CALIENTE.
RB6	DISPLAY DE TEMPERATURA FRÍA.
RA2	LE_SALIDAS_VARIAS.

De la hoja de datos del fabricante tenemos los siguientes factores de carga para los integrados involucrados en el anterior circuito, ver figura 3.34.

74LS04	74LS164	MCU (PIC16C71)
I_o H=0.4mA L=8 nA	MR H 0.5 = 20 μ A L 0.25 = 0.4mA	I_o = 3 mA.
I_{in} H=0.1mA L= -0.4nA	Q _o H 10 U.L.= 0.2mA L 5U.L. = 0.1nA	
	A H 0.5 U.L. L 0.25 U.L.	

Figura 3.34 Tabla de comparativa de corrientes de circuitos *TTL* y *MCU*.

De la tabla anterior se observa que el circuito 74LS164 no va a demandar al 74LS04 una corriente mayor de la que éste puede proporcionar en ambos estados para generar la señal de *RESET*. Así mismo, se puede ver que la corriente demandada por el inversor no excede el límite de corriente permitida a la salida de la terminal RB5 del *MCU*, el cual tiene un valor de corriente de salida $I_{oMCU} = 3 \text{ mA}$. De forma similar, se observa que la corriente demandada por el inversor y los convertidores serie/paralelo en sus respectivas entradas, no excede la corriente máxima de salida del *MCU*.

Los *heaters* 1 y 2 se activarán cada uno por medio de una terminal del *latch* de *salidas varias*, pero por las mismas razones que para las válvulas se utilizará una etapa de potencia la cual será similar a la utilizada con ellas.

En cuanto al cálculo de la corriente de consumo por las resistencias calefactoras se debe considerar que: el *heater* 1 tiene una potencia de disipación de 1,200 *Watts* (valor determinado en el apartado de diseño de los recipientes y cálculo de los *heaters* de este mismo capítulo), de ahí que, de acuerdo a la figura 3.35, se tenga que la potencia de disipación del *heater* 1 esté definida por la ecuación:

$$P_{DH1} = V_{CA} * I \quad (\text{Ec. 3.34.})$$

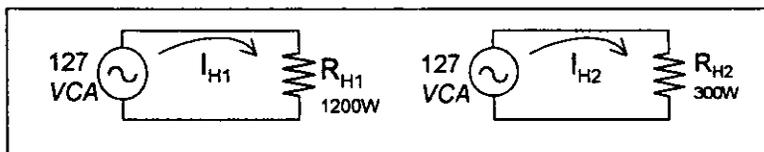


Figura 3.35. Circuito equivalente de alimentación a los *heaters*.

Para llevar a cabo el diseño del módulo de potencia se utilizarán relevadores de estado sólido (SSR, *Solid State Relay*) que permitan operar el circuito de potencia eficientemente y que, además, se tenga un aislamiento para esta etapa final. La forma de conexión de la etapa de potencia al *heater* 1 se ejemplifica en la figura 3.36 y el valor de la corriente que circula por el circuito *heaters* se calculará a partir de la ecuación 3.34:

$$I_{H1} = \frac{P}{V} = \frac{1,200 \text{ Watts}}{127 \text{ VCA}} = 9.448 \text{ A}$$

Con este dato, se seleccionará un relevador de estado sólido capaz de manejar una corriente nominal mayor a 9.5 A. En el catálogo de fabricantes se

encontró que *CRYDOM* cuenta este tipo de relevadores, como él: (SSR) TD2425, el cual puede ser disparado con voltajes que oscilan entre 3 y 32 *VCD* y puede manejar una corriente de 25 *A* nominal con voltajes dentro del rango de 24 a 240 *VCA*.

En cuanto al *heater 2*, de acuerdo a la figura 3.35 y a la ecuación 3.34, la corriente nominal es:

$$I_{H2} = \frac{P}{V} = \frac{300 \text{ Watts}}{127 \text{ VCA}} = 2.36 \text{ A}$$

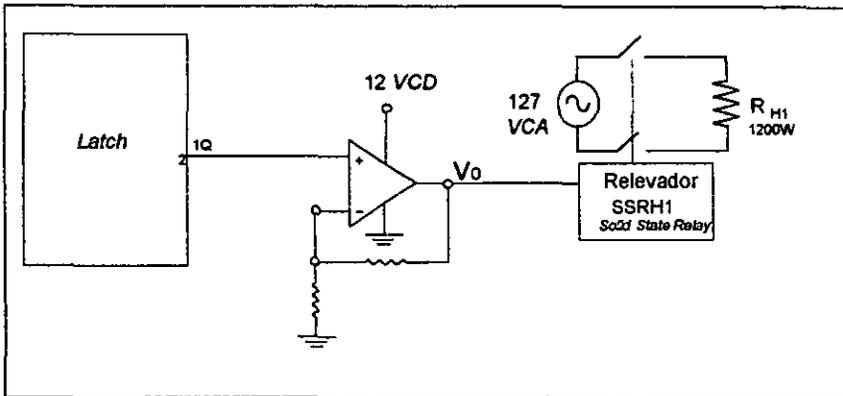


Figura 3.36. Circuito para activar los relevadores de los *heaters*.

Con este dato se seleccionará un relevador de estado sólido capaz de manejar una corriente nominal mayor a 2.36 *A*, el cual puede ser del mismo tipo anteriormente seleccionado y a fin de estandarizar todos los relevadores con la finalidad de que el servicio al equipo sea más práctico y económico, ya que se evita tener un *stock* grande y diverso de refacciones. Los relevadores para las válvulas solenoides también serán del mismo valor del que se calculó para los *heaters*, ya que cumplen con los requerimientos de éstos.

Para la bomba de circulación de agua se debe tomar en cuenta que se requiere activar una bomba centrífuga que permita desplazar un volumen de agua de 7.0 L/min (este dato fue tomado de las hojas de especificaciones de los fabricantes de oxigenadores y reservorios venosos); y esta bomba deberá operar con la alimentación de 127 VCA de la línea. Tomando en cuenta estas restricciones, se encontró en el mercado una bomba que va a permitir el bombeo de 10.5 L/min de agua (máximos), consumiendo 5.1 A . En la figura 3.37 se muestra el circuito simplificado requerido para la activación de la bomba.

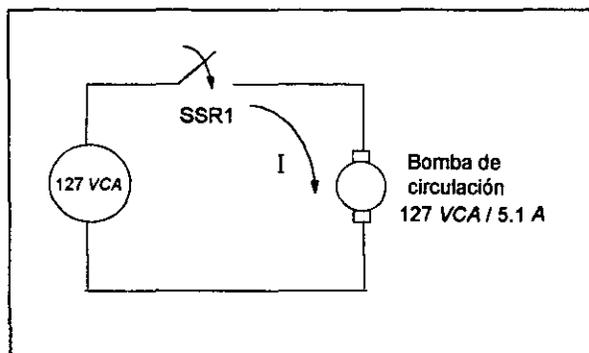


Figura 3.37. Diagrama del circuito de alimentación de la bomba.

La interrupción o continuidad de la corriente en el circuito se controlará por medio de un relevador de estado sólido. Para seleccionar este dispositivo hay dos factores que se deberán considerar: el voltaje aplicado (127 VCA) y la corriente que fluye a través del relevador.

El relevador deberá soportar como mínimo una corriente de 5.1 A y un voltaje de 127 VCA en sus terminales de potencia, por lo que es posible utilizar el mismo relevador elegido para los *heaters* ya que cumple ampliamente con estos requerimientos y se continúa con la idea de estandarizar las refacciones.

La señal que va a activar este relevador se genera desde una compuerta

AND y está en función de la señal de activación de la bomba proveniente del latch de salidas varias y de la señal proveniente de un flotador que se instalará para evitar que la bomba funcione sin agua, lo que podría dañarla. El voltaje de salida de la compuerta en estado alto es de 5.0 VCD, y si bien puede disparar el relevador de estado sólido, aun así, se elevará el valor de este voltaje de salida hasta un valor intermedio del rango de voltaje requerido para disparar el relevador y asegurar el disparo. En la figura 3.38 se muestra el circuito que se diseñó para el disparo del relevador en donde además se muestra el flujo de la corriente I_B hacia el circuito de activación del led indicativo del estado de la bomba, que se diseñará más adelante.

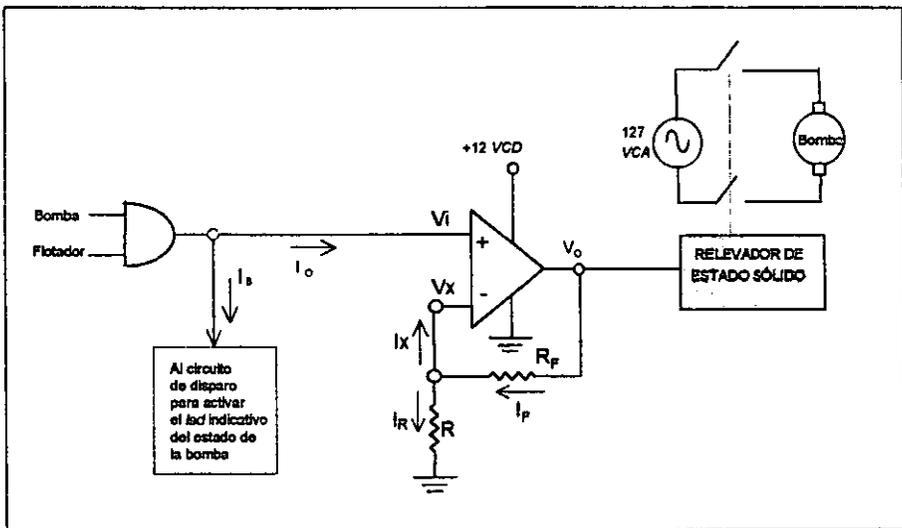


Figura 3.38. Circuito de control de activación de la bomba.

El circuito muestra a un operacional en configuración de amplificador no inversor y la ganancia de lazo cerrado de este amplificador está dada por la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{V_i}{R}(R + R_F) = \frac{V_i R}{R} + \frac{V_i R_F}{R} = V_i \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \quad (\text{Ec. 3.35.})$$

Para asegurar que la señal de disparo del relevador esté dentro del rango especificado, se calculará el circuito amplificador para que $V_o = 10 \text{ VCD}$. Si V_i lo genera la compuerta AND, se conoce, entonces, que el valor máximo de $V_i = 5.0 \text{ VCD}$. Esto indica que el amplificador deberá tener una ganancia de 2. Por inspección de la ecuación 3.36 se logra establecer que igualando los valores de las resistencias R_F y R , se obtiene esta relación de 2. Asignando valores a estas resistencias como:

$$R_F = R = 1 \text{ k}\Omega$$

Dado que la impedancia de entrada al amplificador es muy alta, se puede considerar que $I_x = 0$, de donde:

$$\begin{aligned} I_F &= 0 + I_R \\ V_o &= I_R(R + R_F) \end{aligned}$$

despejando I_F se tiene que:

$$I_F = I_R = \frac{V_o}{R_F + R} \quad (\text{Ec. 3.36.})$$

$$I_F = I_R = \frac{10.0 \text{ V}}{2,000 \Omega} = 0.005 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

la potencia disipada por ambas resistencias es:

$$P_D = I^2 R \quad (\text{Ec. 3.37.})$$

$$P_D = (0.005 \text{ A})^2 * 1000 \Omega = 0.025 \text{ W} = 25 \text{ mW}$$

De acuerdo a los datos obtenidos, los valores de R_F y R serán de: $1\text{ k}\Omega$ $\pm 5\%$ a $\frac{1}{4}\text{ W}$. Todas las etapas de amplificación anteriormente calculadas utilizan un amplificador operacional el cual no tiene requerimientos especiales por lo que para su elección nos basaremos en algún integrado que contenga varios de éstos con la finalidad de economizar.

Como ya se mencionó, las señales de la activación del *led* de la bomba se generan a la salida de la compuerta *AND*, y las del *led* de programación y de la señal Caliente / Frío, son generadas por medio del *latch* de salidas varias; y en general, cada una será enviada a un circuito para la activación de su *led* correspondiente, recordando que la señal Caliente servirá para activar en forma complementaria a los *leds* indicativos cuando el proceso a realizar es de calentamiento o enfriamiento.

El circuito propuesto para la activación de todos los *leds* indicativos es mostrado en la figura 3.39, el fabricante Siemens recomienda, para el *led* LR5460FJ ó LG5460-J, una corriente de consumo promedio de $I_F=20\text{ mA}$; tomando en cuenta esta característica se usará este tipo de *led* ya sea rojo, para la indicación de *HEAT1* y *HEAT2*, o *led* verde para la indicación de *PROGRAMAR*. En relación con este requisito, para el transistor Q_1 , se debe calcular una resistencia de colector R_C que permita obtener la corriente óptima requerida a través del *led*. Así mismo se determinará una resistencia de base R_B que permita aislar la salida de los circuitos *TTL* de la base del transistor Q_1 .

Considerando que la corriente de base $I_B < 3\text{ mA}$, por lo tanto, se puede calcular que la resistencia de base será:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_D}{I_B} = \frac{(5.0 - 0.7 - 1.6)\text{ V}}{3 * 10^{-3}\text{ A}} = 900\ \Omega$$

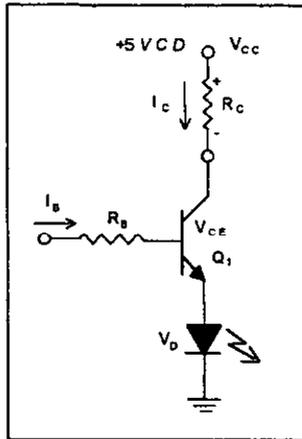


Figura 3.39. Circuito de disparo para activar los *led* indicadores.

El valor comercial hacia arriba que más se aproxima a este valor es de $1\text{ k}\Omega$ y la potencia de disipación:

$$P_{D_{R_c}} = I^2 * R = (3\text{ mA})^2 * 1\text{ k}\Omega = 9\text{ mW}$$

En consecuencia, se utilizará, como protección al *MCU*, una resistencia de $1\text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $1/4$ de *Watt*.

En condiciones de saturación la corriente del *led* será igual a la corriente de colector de Q_1 , lo cual se puede establecer de la siguiente forma:

$$I_F = I_C = 20\text{ mA.}$$

de la figura 3.39 podemos establecer que:

$$V_{CC} = I_C R_C - V_{CEsat} - V_{led}$$

como $V_{led} \approx 1.6 \text{ VCD}$, entonces la resistencia de colector R_C será igual a:

$$R_C = \frac{V_{CC} - 0.2 - 1.6}{I_C} = \frac{(5.0 - 0.2 - 1.6) \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = \frac{3.2 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 160 \Omega$$

La potencia disipada por esta resistencia será:

$$P_{DR_c} = I_{R_c}^2 * R_C$$

$$P_{DR_c} = I_c^2 * R_c = (0.02 \text{ A})^2 * 160 \Omega = 64 \text{ mW}$$

El valor de esta resistencia R_C será de $180 \Omega \pm 5\%$ por ser el valor comercial que se aproxima al calculado con una potencia de disipación de $\frac{1}{4} \text{ W}$. Para la señal que sale de la terminal 5 del *MCU* se tomarán los mismos valores para las resistencias tanto de la base como las del colector.

El transistor que se utilizará será un tipo NPN con una corriente máxima de colector de 100 mA . El transistor que cumple con estos requisitos es un 2N3904 ó 2N2222 como se observa en la figura 3.40 (Referirse al apéndice para características adicionales):

Datos	2N2222	2N3904
Corriente de colector I_C	800 mA	200 mA
Voltaje colector-emisor V_{CE}	0-40 V	0-40 V
Potencia de disipación P_D	800 mW	800 mW

Figura 3.40. Tabla comparativa de características entre transistores NPN 2N2222 y 2N3904.

Una vez diseñado el módulo de procesamiento de datos y control, en la

figura 3.41 se muestra la carátula del intercambiador de temperatura, integrado por el tablero de control diseñado de acuerdo a la descripción previa y los indicadores visuales.

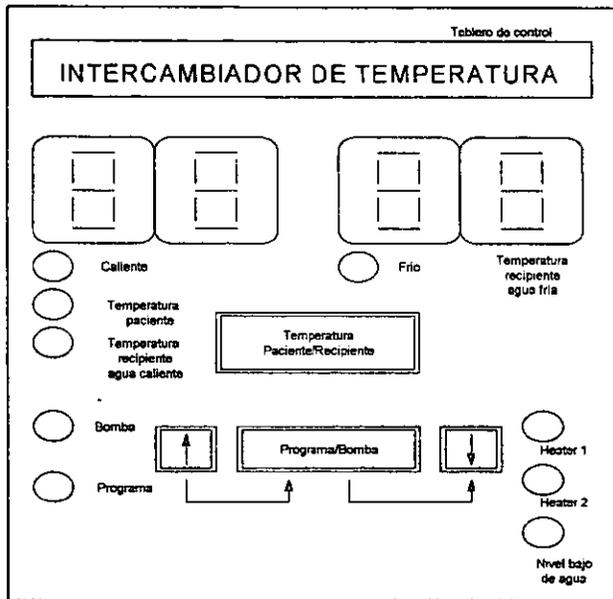


Figura 3.41. Carátula del intercambiador de temperatura.

3.10 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación proporcionará +5 VCD para el microcontrolador PIC16C71 y circuitos integrados de lógica TTL y +12 VCD para los amplificadores operacionales. Y debe de cumplir con los requerimientos de corriente de todo el circuito eléctrico del intercambiador de temperatura. Por lo que a continuación, en la figura 3.42 se muestra una tabla donde se pueden observar los consumos máximos de corriente de cada integrado, tomados de las especificaciones del fabricante y la corriente que circulará en los indicadores luminosos con la finalidad

de calcular la carga total del circuito.

Componente	Cantidad	Icc [mA]	Icc total [mA]
SN74LS04	1	6.6	6.6
SN74LS11	1	6.6	6.6
SN74LS47	4	13	52
SN74LS164	1	27	27
SN74LS373	3	40	120
LM747	5	2.8	14
LM741	1	2.5	2.5
PIC16C71	1	0.015	0.015
LEDS	6	20	120
DISPLAY	4	140	560

Icc máxima = 908.715

Figura 3.42. Tabla de consumos máximos de corrientes.

Como se puede observar en la tabla anterior la carga máxima es 0.908 A, por lo que se diseñará la fuente de alimentación con una salida de +5 VCD con una capacidad de 2 A y otra salida de +12 VCD con una capacidad de 1 A, utilizando reguladores integrados.

a) Voltaje de +12 VCD

Para obtener los +12 VCD se utilizará el MC7812, que es un regulador de voltaje de tres terminales capaz de proporcionar una corriente máxima de 1.0 A y requiere un voltaje de entrada comprendido entre 14.5 VCD (V_{in}) y 27 VCD.

Si se utiliza un transformador con una relación de transformación de 127/12 VCA, 2 A. El voltaje de pico sería de:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 12 = 16.97 \text{ V}$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{R_{p-p} \text{ máx}} = V_p - V_{u \text{ máx}} = 16.97 - 14.5 = 2.47 \text{ V}$$

El voltaje de rizo *rms* será:

$$V_{R_{rms}} = \frac{V_{R_{p-p} \text{ máx}}}{2\sqrt{3}} = \frac{2.47}{2\sqrt{3}} = 0.713 \text{ V}$$

El voltaje de corriente directa que entregará

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_{R_{p-p}}}{2} = 16.97 - \frac{2.47}{2} = 15.735 \text{ V}$$

Para obtener el valor del capacitor se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{R_{rms}} = \frac{I_{CD} * V_{CD}}{4\sqrt{3} * f * C * V_p}$$

Despejando C de la ecuación anterior y sustituyendo valores, donde f es la frecuencia (60 Hz), para obtener el filtro C_1 :

$$C_1 = \frac{0.908 * 15.735}{4\sqrt{3} * 60 * 16.97 * 0.713} = 2,840.6 \mu F$$

Del valor obtenido se utilizará un capacitor de $C_1=3,300 \mu F$ a 50 V.

b) Voltaje de +5 VCD

Para obtener el voltaje de +5 VCD se utilizará el regulador de voltaje MC78T05, conectado al mismo transformador, aprovechando que utilizando el tap central podemos obtener 6 V_{rms} , donde el voltaje de pico sería de:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 6 = 8.485 \text{ V}$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{Rp-p\text{ máx}} = V_p - V_{in\text{ mín}} = 8.485 - 7 = 1.48 \text{ V}$$

El voltaje de rizo *rms* será:

$$V_{R\text{ rms}} = \frac{V_{Rp-p\text{ máx}}}{2\sqrt{3}} = \frac{1.48}{2\sqrt{3}} = 0.427 \text{ V}$$

El voltaje de corriente directa que entregará

$$V_{CD} = V_p - \frac{V_{Rp-p}}{2} = 8.48 - \frac{1.48}{2} = 7.74 \text{ V}$$

Para el cálculo del valor del capacitor C_4 se tiene:

$$C_4 = \frac{0.908 * 7.74}{4\sqrt{3} * 60 * 8.48 * 0.427} = 4,669.07 \mu\text{F}$$

Del valor obtenido se utilizará un capacitor C_4 de 4,700 μF a 50 V. Y por último se presenta en la figura 3.43 el diagrama eléctrico de la fuente de alimentación del intercambiador de calor, en donde se aprecia que C_2 y C_5 son utilizados como capacitores de desacoplo; C_3 y C_6 para mejorar la respuesta transitoria del regulador.

Para el cálculo del valor del fusible F_1 se tiene que obtener la corriente en el devanado primario del transformador.

$$I_{prim} = (\text{relación de transformación})(\text{máxima carga})$$

$$I_{prim} = \frac{12}{127} * 0.908 = 0.0858 \text{ A}$$

Del valor obtenido y dando una tolerancia, el fusible comercial siguiente más elevado es de 250 mA. Una vez que se han diseñado los diferentes módulos que integran el intercambiador de temperatura, en la figura 3.44 se muestra el circuito eléctrico completo en donde los valores de los capacitores estarán en μF y las resistencias en Ω y posteriormente, en la figura 3.45, se muestra una lista de partes.

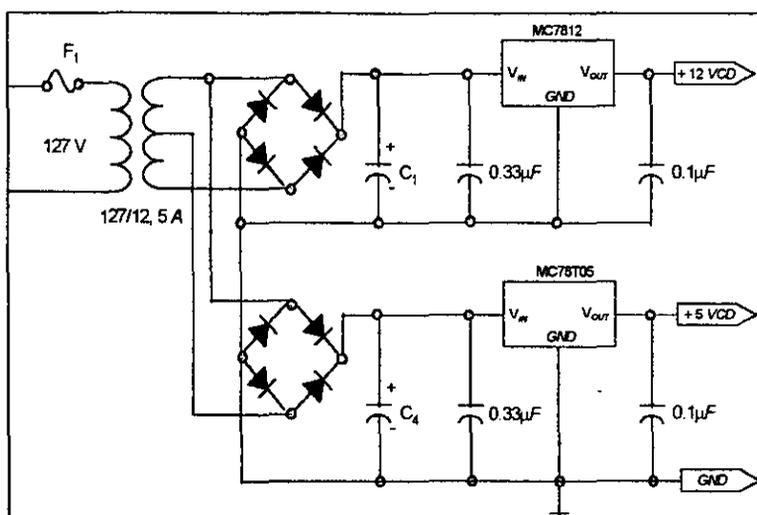


Figura 3.43. Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación del intercambiador de temperatura.

3.11 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

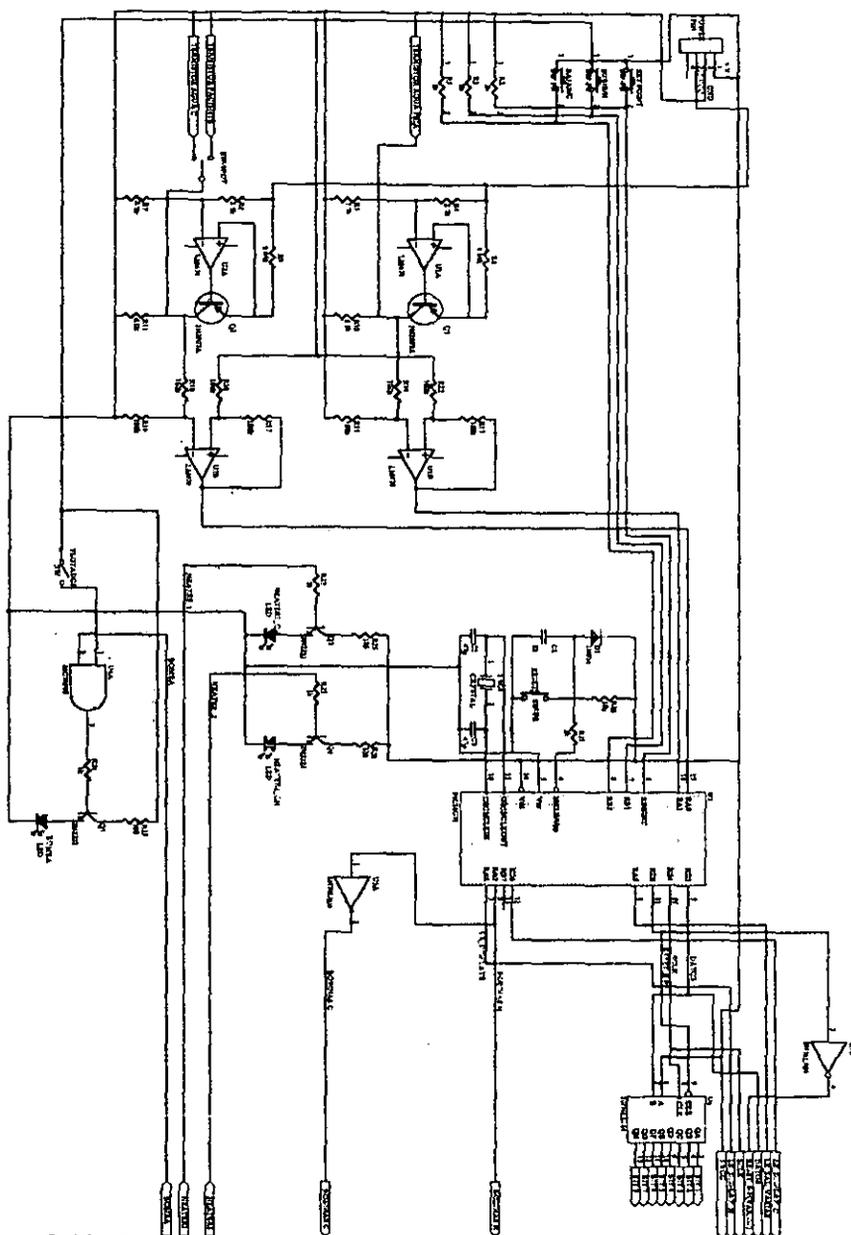


Figura 3.44. Diagrama eléctrico del intercambiador de temperatura. (Continúa).

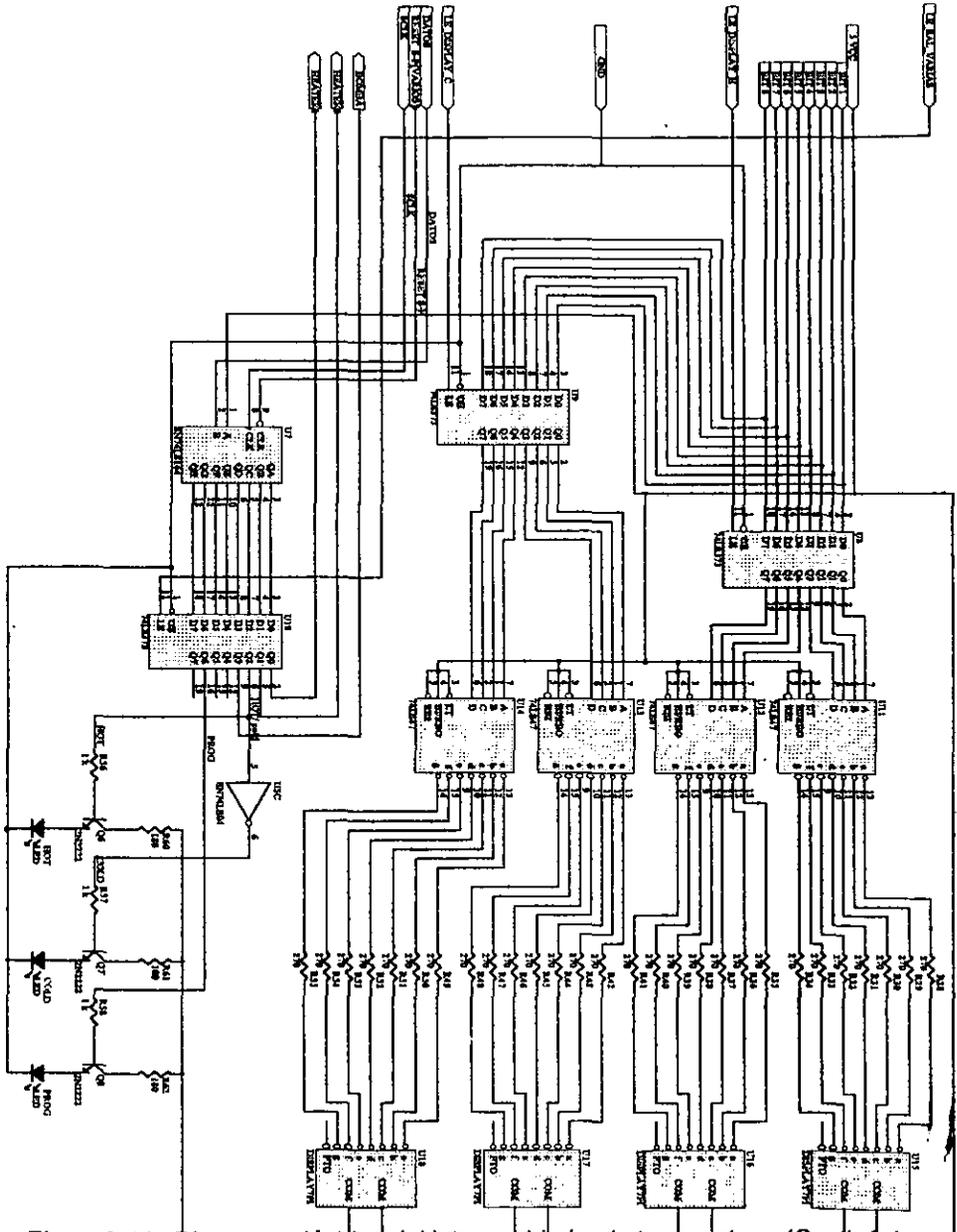


Figura 3.44. Diagrama eléctrico del intercambiador de temperatura. (Continúa).

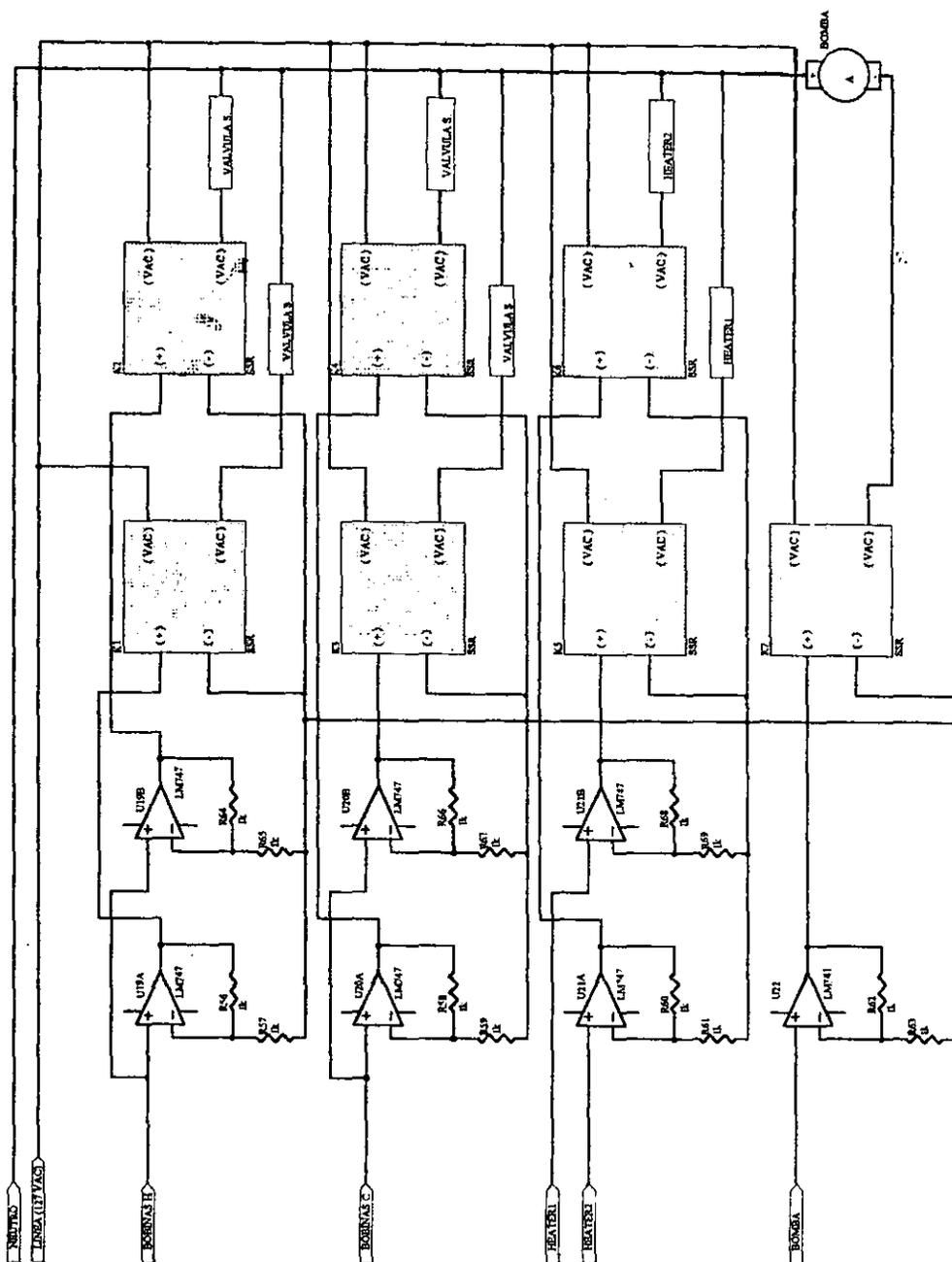


Figura 3.44. Diagrama eléctrico del intercambiador de temperatura.

3.12 LISTA DE PARTES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

Dispositivo	Número de parte	Descripción
U1,U2,U19-U21	LM474	Amplificador operacional doble
U3	PIC16C71	Microcontrolador
U4	SN74LS08	Compuerta AND de dos entradas
U5	SN74LS04	Inversores
U6,U7	SN74LS164	Convertidor serie-paralelo
U8-U10	SN74LS373	Latch octal
U11-U14	SN74LS47	Convertidor BCD a 7 segmentos
U15-U18		Display de 7 segmentos ánodo común
Q1,Q2	2N2907A	Transistor PNP
Q3-Q8	2N2222	Transistor NPN
D1	1N914	Diodo de pequeña señal
R1-R3,R21-R24,R58-R58	1k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R4-R7	2.7k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R8,R9	6.04k Ω , +1%, 1/4 W	Resistencia de película metálica
R10,R11	6.8k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R12-R19	100k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R20	10k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R25-R27,R60-R62	180 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R28-R55	270 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
C1	22 μ F, +10%, 25 V	Capacitor electrolítico
C2,C3	47 pF, +10%	Capacitor cerámico
K1-K7	TD2425	Relevador de estado sólido (25A, 3-32 VCD)
Bomba		Bomba centrífuga
Heater 1		Resistencia calefactora de 1200 W
Heater 2		Resistencia calefactora de 300 W
Válvula solenoide		Válvula solenoide 11W
FUENTE DE ALIMENTACIÓN		
Dispositivo	Número de parte	Descripción
T1	127/12 VCA, 3 A	Transformador reductor
PR1,PR2	SB305	Puente rectificador
C1	3,300 μ F, +10%, 25 V	Capacitor electrolítico
C2,C3	0.33 μ F, +10%	Capacitor cerámico
C4	4,700 μ F, +10%, 25 V	Capacitor electrolítico
C5,C8	0.1 μ F, +10%	Capacitor cerámico
REG1	MC7812	Regulador de voltaje
REG2	MC78T05	Regulador de voltaje
F1	3AG1/4A	Fusible fusión normal 250 mA 250 V

Figura 3.45. Lista de partes del intercambiador de temperatura.

Con esta lista de partes se concluye el diseño eléctrico, pero es necesario diseñar el *software* adecuado, para el funcionamiento de éste, por lo que se iniciará el siguiente apartado con la elaboración de los diagramas de flujo necesarios para observar los requerimientos de dicho programa.

3.13 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

Una vez diseñadas las diferentes etapas que conforman el *hardware* del intercambiador de temperatura se procederá a presentar el diagrama de flujo principal y un conjunto secundarios de diagramas de flujo más específicos llamadas subrutinas. El diagrama de flujo principal establece la estructura del programa de control que el *MCU* ejecuta mediante rutinas y subrutinas. En cada diagrama de flujo presentado se dará una breve explicación del mismo, de tal forma que se logre conjuntar la operación del sistema.

3.14 DIAGRAMAS DE FLUJO

a) Diagrama de flujo general del sistema

El objetivo principal del diagrama de flujo consiste en mantener la temperatura del recipiente de agua caliente dentro de los valores deseados, evitando que por ningún motivo excedan los 42°C. En la figura 3.46 se muestra el diagrama de flujo general del sistema intercambiador de temperatura, donde se muestran los principales procesos que interactúan en el sistema.

Las señales de temperatura son analógicas y enviadas al convertidor A/D del *MCU*. Una vez convertidas las lecturas a datos digitales se lleva a cabo el despliegue de los datos leídos a través de la subrutina de comparación y búsqueda, en donde, en forma de tabla y previamente cargados en la memoria del *MCU*, se compara la lectura obtenida con la registrada y por aproximaciones sucesivas se determina cuál es la temperatura que se tiene en ese momento. El programa principal monitoreará los valores de temperatura de los depósitos de

agua, ya que la función principal del programa de control del intercambiador es mantener la temperatura al valor seleccionado y también verificará que no vaya más allá de los límites de diseño.

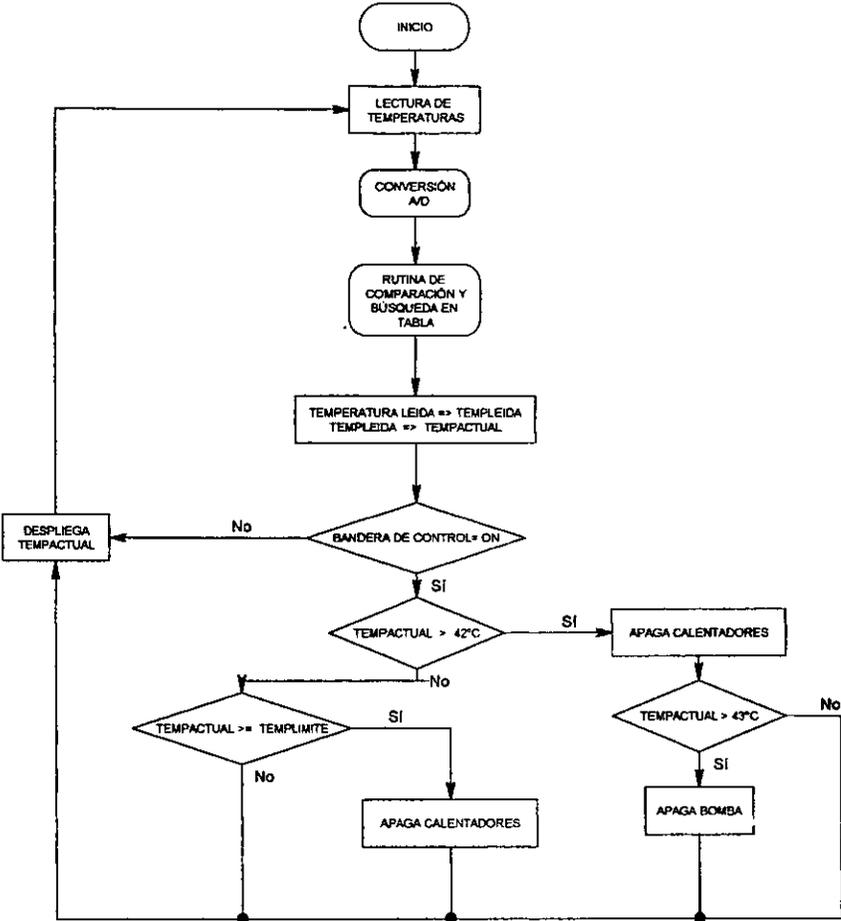


Figura 3.46. Diagrama de flujo principal del sistema.

Si la temperatura actual va más allá de los 42°C, el *MCU* dará la orden para apagar los *heaters*, y si ésta supera los 43°C, entonces dará la orden de apagar la bomba. Así mismo, si la temperatura actual no excede los 42°C, pero está en un valor mayor o igual a la temperatura límite superior, también se da la orden de apagar los *heaters*.

b) Rutina de comparación y búsqueda

Mediante esta rutina, una vez que el convertidor analógico digital interpretó la señal de voltaje proporcionada por el módulo acondicionador de señales, ésta es leída y convertida a un valor hexadecimal, el cual va a ser almacenado en la variable *TEMPLEIDA* dentro de la rutina de comparación y búsqueda, la cual se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.47. Se verifica si la variable *TEMPLEIDA* no excede los límites máximos y mínimos de temperatura del diseño (44.6 °C y 2 °C respectivamente), si el valor leído está dentro de estos límites el programa va a buscar el equivalente decimal del valor que tenga *TEMPLEIDA* en una tabla en la cual están almacenados los valores decimales de las temperaturas correspondientes al valor hexadecimal en *TEMPLEIDA*. Los datos en la tabla están ordenados de tal manera que los valores hexadecimales estén almacenados en localidades de memoria pares, y sus equivalentes decimales en las localidades nones contiguas. Esta tabla se muestra en la figura 3.48.

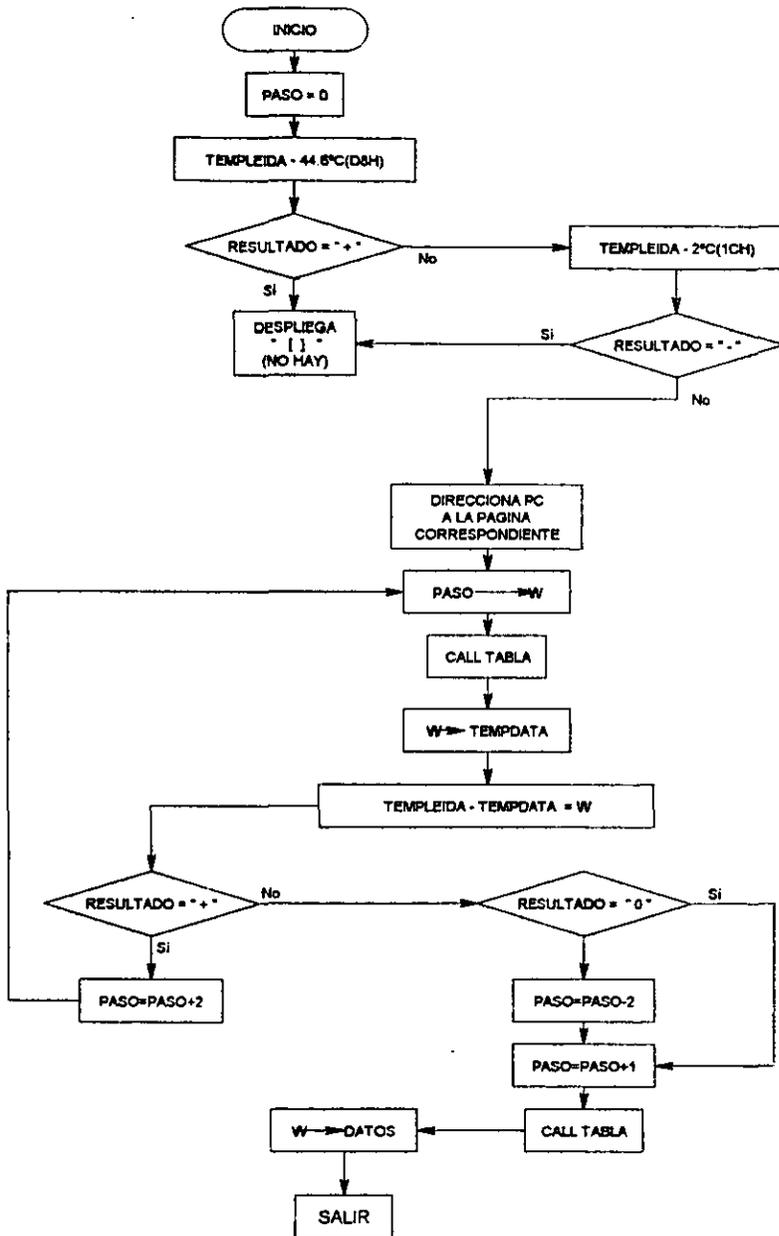


Figura 3.47. Diagrama de flujo de la rutina de comparación y búsqueda.

Tabla de Salidas Req				
Temp °C	Ventcad	Div #	HEX	DATOS
2	0.378	19	13	02H
2.6	0.419	21	15	03H
3	0.446	23	17	03H
3.6	0.488	25	19	04H
4	0.516	26	1A	04H
4.6	0.558	29	1D	05H
5	0.587	30	1E	05H
5.6	0.630	32	20	06H
6	0.659	34	22	06H
6.6	0.702	36	24	07H
7	0.731	37	25	07H
7.6	0.775	40	28	08H
8	0.805	41	29	08H
8.6	0.849	43	2B	09H
9	0.879	45	2D	09H
9.6	0.924	47	2F	10H
10	0.954	49	31	10H
10.6	1.000	51	33	11H
11	1.030	53	35	11H
11.6	1.076	55	37	12H
12	1.106	57	39	12H
12.6	1.152	59	3B	13H
13	1.183	61	3D	13H
13.6	1.229	63	3F	14H
14	1.260	65	41	14H
14.6	1.307	67	43	15H
15	1.338	69	45	15H
15.6	1.385	71	47	16H
16	1.416	72	48	16H
16.6	1.463	75	4B	17H
17	1.494	76	4C	17H
17.6	1.541	79	4F	18H
18	1.572	80	50	18H
18.6	1.619	83	53	19H
19	1.650	84	54	19H
19.6	1.697	87	57	20H
20	1.728	88	58	20H
20.6	1.775	91	5B	21H
21	1.807	92	5C	21H
21.6	1.853	95	5F	22H
22	1.884	96	60	22H
22.6	1.931	99	63	23H
23	1.962	100	64	23H

Tabla de Salidas Req				
Temp °C	Ventcad	Div #	HEX	DATOS
23.6	2.008	103	67	24H
24	2.039	104	68	24H
24.6	2.085	107	6B	25H
25	2.116	108	6C	25H
25.6	2.161	111	6F	26H
26	2.192	112	70	26H
26.6	2.237	115	73	27H
27	2.267	116	74	27H
27.6	2.312	118	76	28H
28	2.342	120	78	28H
28.6	2.387	122	7A	29H
29	2.416	124	7C	29H
29.6	2.460	126	7E	30H
30	2.490	127	7F	30H
30.6	2.533	130	82	31H
31	2.562	131	83	31H
31.6	2.605	133	85	32H
32	2.633	135	87	32H
32.6	2.676	137	89	33H
33	2.704	138	8A	33H
33.6	2.748	141	8D	34H
34	2.773	142	8E	34H
34.6	2.815	144	90	35H
35	2.842	145	91	35H
35.6	2.882	148	94	36H
36	2.909	149	95	36H
36.6	2.949	151	97	37H
37	2.975	152	98	37H
37.6	3.014	154	9A	38H
38	3.040	156	9C	38H
38.6	3.078	158	9E	39H
39	3.103	159	9F	39H
39.6	3.141	161	A1	40H
40	3.166	162	A2	40H
40.6	3.202	164	A4	41H
41	3.227	165	A5	41H
41.6	3.263	167	A7	42H
42	3.286	168	A8	42H
42.6	3.321	170	AA	43H
43	3.345	171	AB	43H
43.6	3.379	173	AD	44H
44	3.402	174	AE	44H

Figura 3.48. Tabla de valores de temperatura.

La búsqueda del equivalente decimal se hace siguiendo una aproximación sucesiva, utilizando un direccionamiento indirecto a través de la variable PASO. La variable PASO hace la función de un apuntador de la tabla donde están almacenados los valores hexadecimales y sus equivalentes decimales; Al inicio de la búsqueda, se asigna un valor de 00H al apuntador; TEMPLEIDA, entonces, va a ser comparada con el valor hexadecimal almacenado en la dirección a la cual PASO apunta, si la diferencia entre el valor en TEMPLEIDA y el valor almacenado en PASO es positivo incrementará en 2 el valor de PASO. Cuando PASO apunta a un valor que haga que la diferencia entre éste y TEMPLEIDA sea igual a cero, avanza el apuntador a la localidad siguiente, de ahí se obtiene el equivalente decimal del valor hexadecimal que viene almacenado en TEMPLEIDA y es almacenado en el registro de trabajo W y pasado a la subrutina de programación de temperatura.

c) Subrutina de programación de la temperatura

Esta subrutina se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.49. El valor de TEMPLEIDA es almacenado en la variable TEMPDESEADA. Con esta asignación el valor de partida para la programación de la temperatura será el valor leído en ese momento en el dispositivo de agua caliente. Un led con la leyenda PROGRAMA, indicador en el tablero de control del intercambiador de temperatura, se encenderá para indicar que se está en modo de programación de la temperatura, a este punto el valor de la variable PASO está apuntando a una localidad de la tabla donde está almacenado un valor decimal (esta variable viene de la rutina de búsqueda y comparación en tablas), se decrementa el valor de PASO en una localidad para que ahora apunte el valor hexadecimal equivalente al valor decimal que desplegó.

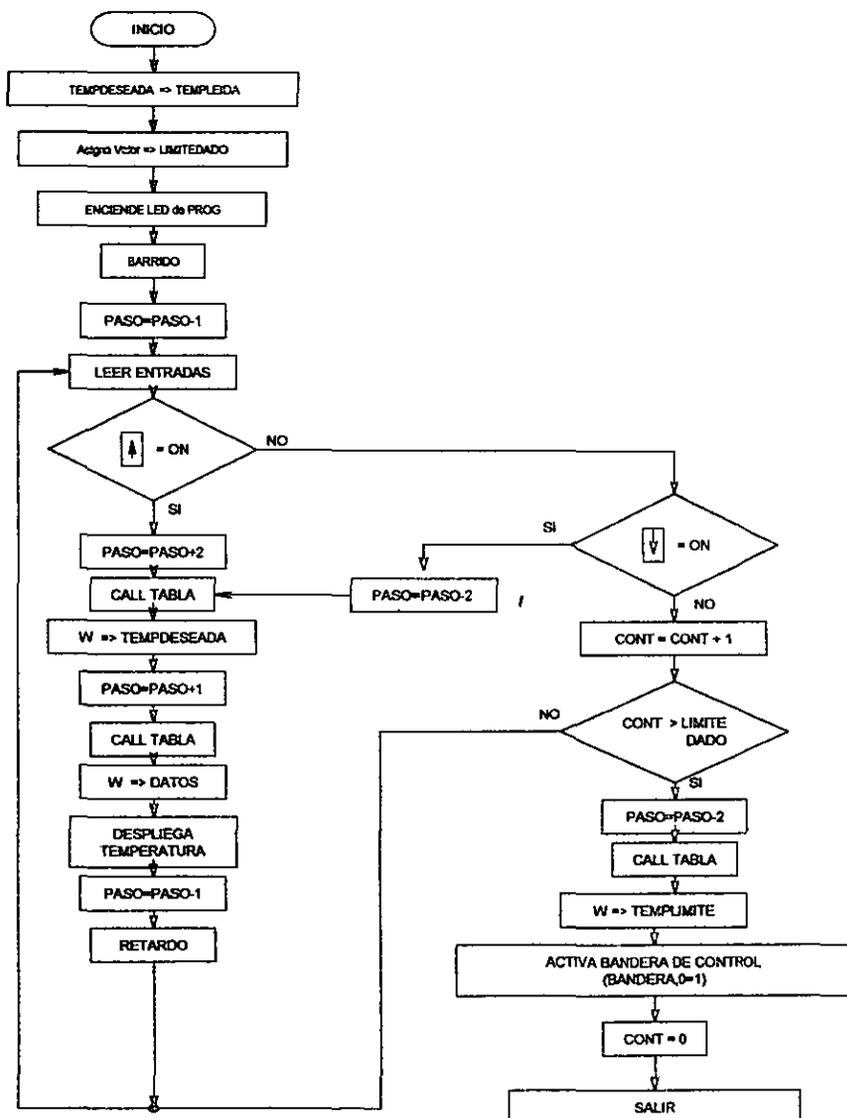


Figura 3.49. Diagrama de flujo de la rutina de programación de la temperatura.

El programa leerá si el usuario activó alguna de las teclas de incremento o decremento de la temperatura, si hay activación de teclas el programa verificará

cuál de ellas fue la que se activó y hará una búsqueda en la tabla de temperaturas hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la tecla que se haya activado. Esta búsqueda también usará PASO como apuntador de tabla para obtener los valores de temperatura a desplegar, así que incrementar o disminuir la temperatura será igual a incrementar o disminuir la posición a la cual PASO está apuntando.

La variable LIMITEDADO va a controlar el ciclo de retardo que va a permitir la lectura de teclas. El *MCU* ejecuta una instrucción por ciclo de reloj dada la velocidad a la que éste está trabajando; esta subrutina será ejecutada en unas cuantas milésimas de segundo por lo que es necesario hacer un retardo en la ejecución de la subrutina para dar tiempo al usuario para presionar las teclas. Este tiempo de retardo estará entre 0.5 y 0.75 segundos. Una vez terminada la subrutina, el valor de temperatura deseado se almacenará en el registro de *TEMPLIMITE* y activará la bandera de control para indicar que la temperatura ha sido establecida, apaga el *led* indicador y sale de la subrutina.

d) Subrutina de transmisión de datos (TX_SERIE)

Dado que el PIC16C71 no cuenta con una *interface* serial físicamente implementada, es necesario escribir una subrutina que permita transmitir la información en forma serial a través del puerto *PORTB* del microcontrolador.

En la figura 3.50 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de transmisión de datos en forma serial. La subrutina se inicia al asignar a la variable *CONT* un valor igual a 7 que corresponde al *bit* 8 de la variable *DATO_S*. La transmisión de los datos almacenados en la variable *DATO_S* se logra trabajando directamente sobre el *bit* 8 de este registro; cuando el valor de este *bit* sea uno, se escribirá un uno en la salida *RB3* del puerto *PORTB*, pero si el *bit* 8 es cero, se escribirá cero en la misma terminal y hará un corrimiento a la izquierda de ese registro para transmitir el siguiente *bit*. Este corrimiento a la izquierda se

efectúa gracias a la señal reloj, la cual sincroniza la transferencia de cada uno de los *bits* de la terminal RB3 del microcontrolador hacia el convertidor serie/paralelo. La señal reloj, por cada *bit* que se presente en la variable DATO_S, genera un 1 y un 0 en la terminal RB4, y será totalmente independiente del valor que presente el *bit* 8 en ese momento la variable DATO_S.

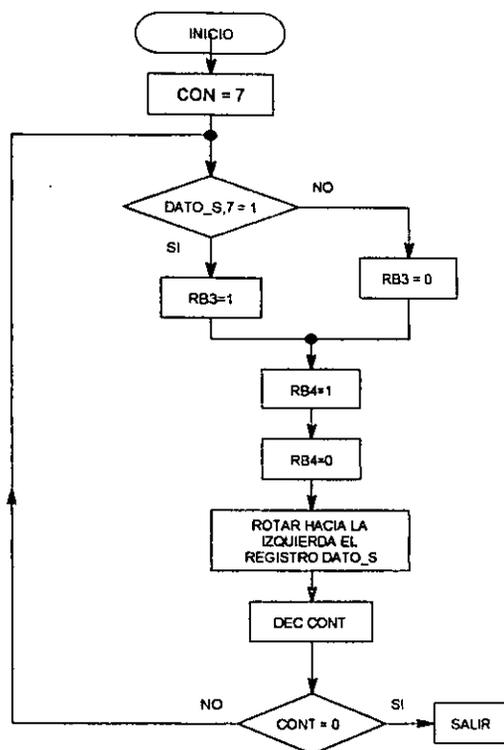


Figura 3.50. Diagrama de flujo de la subrutina de transmisión de datos serial.

Al ser transferido el *bit* 8 se hace disminuir en una cuenta a la variable CONT, así que se le interroga a dicha variable si es igual a cero o no. En caso negativo, se transmite el *bit* 7 a la variable DATO_S. Y así sucesivamente hasta que la variable CONT sea igual con cero.

Esta operación de comparación del *bit* y la generación del pulso de reloj será realizada 8 veces, esto implica que será un ciclo controlado por la variable CONT, la cual va a iniciarse con 7 y hará que la subrutina termine cuando CONT sea cero.

e) Subrutina de despliegue de la temperatura

En la figura 3.51 se muestra el diagrama de flujo del despliegue de la temperatura. Antes de transmitir los datos en forma serial se habilita al convertidor serie/paralelo asignado a los indicadores de 7 segmentos, con lo que automáticamente se deshabilita al convertidor serie/paralelo asignado para salidas varias.

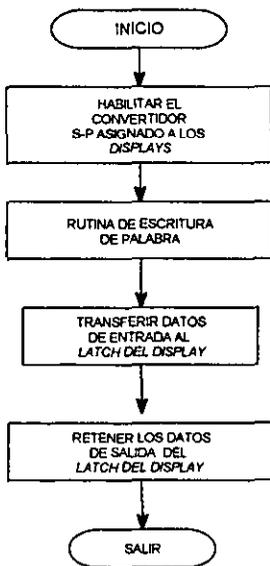


Figura 3.51. Subrutina de despliegue de la temperatura.

Se llama a la subrutina de transmisión serial de los datos para que realice la transferencia del valor a desplegar de la variable DATO_S, asignando los 4 bits más significativos de DATO_S a las decenas, y los 4 bits menos significativos a las unidades.

Para transferir los datos de despliegue se habilita el *latch* del indicador que corresponda a los *displays*, una vez ingresados los datos al *latch* éstos serán retenidos para su despliegue hasta que nuevos datos sean enviados al *latch*.

f) Subrutina de servicio de interrupciones

En la figura 3.52 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de servicio de interrupciones. Esta subrutina se encuentra en estado latente y es activada cuando se presenta una señal de algún interruptor de incremento o decremento de temperatura, originando que el valor de la temperatura actual en el reservorio de agua caliente o del paciente pase al registro de TEMPDESADA, enciende el *led* "Caliente" que es el indicador del proceso de calentamiento, realiza la rutina de incremento del valor desplegado de la temperatura en el recipiente hasta alcanzar el valor a controlar y lo guarda en TEMPDESADA; así mismo, enciende los elementos resistivos que calentarán el agua. Si se activó el botón de decremento de temperatura, la rutina ordenará apagar los *heaters* y enciende el *led* indicador de enfriamiento "frio", y activando la bomba circuladora de agua. En esta subrutina también se utiliza un contador para controlar el retardo que el programa tendrá entre la lectura de entradas y evitar que éste termine antes de que siquiera se active alguno de los botones. Si el contador rebasa el número de veces predeterminado a realizar el ciclo, entonces el programa asume que el usuario desea apagar o encender la bomba. Así, si la bomba se encuentra apagada origina la señal de encendido y viceversa, terminando así esta subrutina.

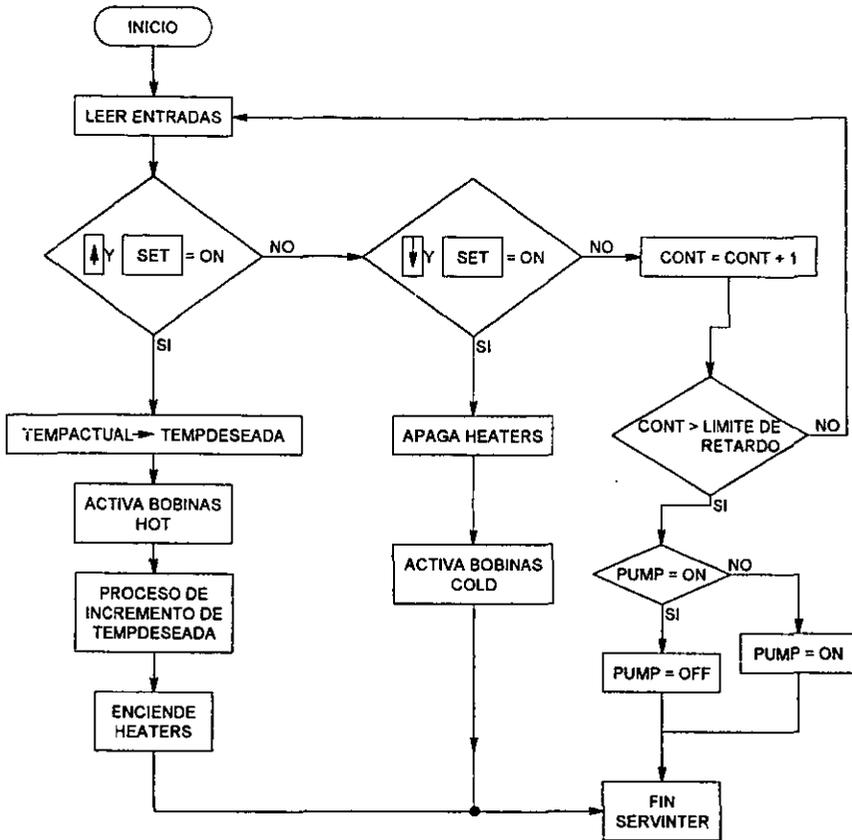


Figura 3.52. Subrutina de interrupciones.

Listado nemónico del programa principal, rutinas y subrutinas

De los diagramas de flujo presentados, ahora, el siguiente paso será la escritura del programa o seudocódigo (nemónico). La seudocodificación permite realizar los detalles del diseño con relativa facilidad respecto al código máquina.

Para llevar a cabo este punto, se establece por cada línea o instrucción un número secuencial ascendente en donde el inicio presenta el encabezado, título o nombre del programa principal, el autor o co-autores del programa que indican los créditos o derechos de autor. Enseguida, por lo general, se hace la declaración de todas las variables que intervienen en la ejecución del programa y la asignación en valor hexadecimal. Una vez cumplido lo anterior, se hace la presentación de las rutinas y subrutinas que puedan leerse descriptivamente de principio a fin, evitando rompimientos y saltos incondicionales. En cada una de las líneas de código se deberá documentar minuciosamente tratando de ser simple y directo.

A continuación se describe el conjunto de instrucciones utilizadas por el microcontrolador PIC16C71 (Referirse al apéndice para características adicionales), las cuales se han clasificado en tres categorías básicas y éstas son reconocidas por el ensamblador MPASM. Todas las instrucciones se ejecutan dentro de un ciclo único de instrucción, a menos que una prueba condicional resulte verdadera o el contador de programa sea cambiado como resultado de una instrucción. En este caso, la ejecución tomará dos ciclos de instrucción pero el segundo ciclo se llevará a cabo como un *NOP*.

Un ciclo de instrucción consiste de cuatro periodos del oscilador. Por lo tanto, para una frecuencia de oscilación de 8 MHz a la que está operando el *MCU*, el tiempo de ejecución de una instrucción normal es de 2 μ seg. Si se llegara a presentar una prueba condicional como verdadera o el contador de programa sea cambiado como resultado de una instrucción, el tiempo de ejecución de la instrucción será de 4 μ seg.

Instrucciones aritméticas y lógicas *byte*

ADDWF	Sumar el contenido del registro W con el del registro f.
ANSWF	Operación lógica <i>AND</i> entre el contenido del registro W y f.
CLRF	Colocar el registro f en cero.

CLRW	Colocar el acumulador o registro W en cero.
COMF	Complemento a 1 del registro f.
DECF	Decrementar el registro f.
DECFSZ	Decrementar el registro f, y saltar cuando sea cero a.
INCF	Incrementar el valor del registro f a.
INCFSZ	Incrementar el valor del registro f, y saltar cuando sea cero.
IORWF	Operación lógica <i>OR-inclusiva</i> entre el contenido del registro W y f.
MOVF	Mover el contenido del registro f a.
MOVWF	Mover el contenido del registro W al registro f
NOP	No operación.
RLF	Rotar hacia la izquierda a través del acarreo.
RRF	Rotar a la derecha a través del acarreo.
SUBWF	Restar el contenido del registro W del contenido del registro f.
SWAPF	Intercambiar " <i>niebbles</i> " (contenido <i>byte</i>) en el registro f.
XORWF	Operación lógica <i>OR-exclusiva</i> entre el registro W y f.

Instrucciones para fijar el valor del *bit*

BCF	Colocar valor del <i>bit</i> f a cero.
BSF	Colocar valor del <i>bit</i> f al valor especificado
BTFSC	Probar valor del <i>bit</i> f y saltar a, cuando sea cero.
BTFSS	Probar valor del <i>bit</i> f y saltar a, cuando sea el valor predeterminado.

Instrucciones para transferencia y control de datos registro a registro

ADDLW	Sumar el contenido de la literal L al acumulador W.
ANDLW	Operación lógica <i>AND</i> entre la literal L y el contenido de W.
CALL	Llamar subrutina.
CLRWDT	Colocar señal de reloj <i>watchdog</i> en cero.
GOTO	Ir a la dirección indicada.
IORLW	Operación lógica <i>OR-inclusive</i> entre literal L y W.

- RETFIE Retornar desde la interrupción.
- RETLW Retornar con la literal L dentro de W.
- RETURN Retorno incondicional desde subrutina.
- SLEEP Ir al modo de espera (*standby*).
- SUBLW Restar el contenido del registro W de la literal L.
- XORLW Operación lógica *OR-exclusiva* entre la literal L y W.

3.15 LISTADO DEL PROGRAMA DEL INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA (COMPILACION)

El listado del programa de control del intercambiador de calor se muestra a continuación y en el siguiente capítulo se hará el diseño de la bomba de rodillos.

```

0001 .....
0002 * PROGRAMA DE CONTROL DEL *
0003 * INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA *
0004 * PARA EL MICROPROCESADOR PIC16C71 *
0005 * DE LA MARCA MICROCHIP. *
0006 * *
0007 * PROYECTO REALIZADO POR LOS *
0008 * ALUMNOS: *
0009 * JORGE BASURTO HERNANDEZ *
0010 * JOSUE BELTRAN JIMENEZ *
0011 * ANTONIO HERNANDEZ RECENDIS *
0012 * JESUS ARTURO SALDIVAR RODARTE *
0013 * JOSE MARIA SANCHEZ SANCHEZ *
0014 * *
0015 * *
0016 * *
0017 * *
0018 * *
0019 * *
0020 .....
0021 .....
0022 .....
0023 .....
0024 .....
0025 * *
0026 * DECLARACIÓN DE VARIABLES *
0027 * *
0028 .....

0029 0002 PCL EQU 02H
0030 0086 TRISB EQU 86H
0031 0085 TRISA EQU 85H
0032 0003 STATUS EQU 03H
0033 0088 ADCON1 EQU 88H
0034 0008 ADCON0 EQU 08H
0035 0009 ADRES EQU 09H
0036 0006 PORTB EQU 06H
0037 0005 PORTA EQU 05H
0038 000A PCLATH EQU 0AH
0039 0081 OPCION EQU 81H
0040 000B INTCON EQU 0BH
0041 000C PASO EQU 0CH

```

```

0042 000D TEMPLEIDA EQU 0DH
0043 000E TEMPDAT EQU 0EH
0044 000F DATOS EQU 0FH
0045 0010 CONTA2 EQU 10H
0046 0011 CONTA EQU 11H
0047 0012 TEMPACTUALH EQU 12H
0048 0013 TEMPACTUALC EQU 13H
0049 0014 TEMPDESEADA EQU 14H
0050 0015 VARIOS EQU 15H
0051 0016 LIMITE EQU 16H
0052 0017 TEMPLIMITE EQU 17H
0053 0018 BANDERAS EQU 18H
0054 0019 ESCUDO2 EQU 19H
0055 001A ESCUDO1 EQU 1AH
0056 001B CONT EQU 1BH
0057 001C HOLA1 EQU 1CH
0058 001D COUNT2 EQU 1DH
0059 001E COUNT3 EQU 1EH
0060
0061 .....
0062 .....
0063 .....
0064 .....
0065 .....

```

```

PROGRAMA PRINCIPAL

```

```

0066 0000 ORG 00H
0067 0000 2806 GOTO PRINCIPAL
0068 0000 ORG 04H
0069 0004 2028 CALL INTERRUPT
0070 0005 0009 RETFIE
0071 0000 ORG 06H
0072 0006 30D2 PRINCIPAL MOVLW 00D2H
0073 0007 0099 MOVWF ESCUDO2 ;ESCUDO2=43°C
0074 0008 30CE MOVLW 00CEH
0075 0009 009A MOVWF ESCUDO1 ;ESCUDO1=42°C
0076 000A 20B9 CALL CONVERSION ;CONVIERTE VALOR ANALOGICO A DIGITAL
0077 000B 0800 MOVF TEMPLEIDA,0 ;EL VALOR YA CONVERTIDO PÁSALO
0078 000C 0092 MOVWF TEMPACTUALH ;AL REGISTRO TEMPACTUALH
0079 000D 204E CALL BARRIDO ;BUSCA QUE REPRESENTA ESTE VALOR DIGITAL
0080 000E 1C18 BTFSB BANDERAS,0 ;SALTA SI LA BANDERA DE CONTROLH ES 1
0081 000F 281C GOTO DESPLIE_TA ;VETE A DESPLEGAR TEMPACTUALH
0082 0010 0812 MOVF TEMPACTUALH,0 ;W=TEMPACTUALH
0083 0011 021A SUBWF ESCUDO1,0 ;W=ESCUDO-W
0084 0012 1803 BTFSB STATUS,0 ;SALTA LA SIG.INST. SI EL RESULTADO FUE "-"
0085 0013 2821 GOTO SIG_PREG
0086 0014 1388 BCF PORTB,7 ;APAGA HEATER1
0087 0015 1306 BCF PORTB,6 ;APAGA HEATER2
0088 0016 0812 MOVF TEMPACTUALH,0 ;W=TEMPACTUAL
0089 0017 0219 SUBWF ESCUDO2,0 ;W=ESCUDO2-W
0090 0018 1803 BTFSB STATUS,0 ;SALTA LA SIG.INST. SI EL RESULTADO FUE "-"
0091 0019 281C GOTO DESPLIE_TA ;VETE A DESPLEGAR TEMPACTUALH
0092 001A 1095 BCF VARIOS,1 ;APAGA LA BOMBA
0093 001B 20A2 CALL SAL_VARIAS ;CON ESTAS DOS INST.
0094 001C 2070 DESPLIE_TA CALL ESC_DISPLAYH
0095 001D 0813 MOVF TEMPACTUALC,0
0096 001E 008F MOVWF DATOS
0097 001F 20E6 CALL ESC_DISPLAYC
0098 0020 20B9 CALL CONVERSION
0099 0021 0812 SIG_PREG MOVF TEMPACTUALH,0
0100 0022 0217 SUBWF TEMPLIMITE,0
0101 0023 1803 BTFSB STATUS,0
0102 0024 281C GOTO DESPLIE_TA
0103 0025 1388 BCF PORTB,7
0104 0026 1306 BCF PORTB,6
0105 0027 281C GOTO DESPLIE_TA

```

```

0106 .....
0107 .....
0108 .....
RUTINA PARA SERVICIO

```

```

0109      : *      DE INTERRUPTONES      :
0110      : *      :
0111      : *      :
0112 0028 3080 INTERRUPT      MOVWLW 80H
0113 0029 0080      MOVWF CONTA2      :CONTA2=60H
0114 002A 30FF LOOP3      MOVWLW 00FFH
0115 002B 0091      MOVWF CONTA      :CONTA=FFH
0116 002C 30FF LOOP2      MOVWLW 00FFH
0117 002D 009B      MOVWF CONT      :CONT=FFH
0118 002E 1C86 LOOP      BTFSS PORTB,1      ;SALTA LA SIG. INST. SI ( ESTA PRESIONADO
0119 002F 2837      GOTO ES_FRIO      ;VETE A VER SI DESEA EL MODO DE FRIO
0120 0030 1185      BCF PORTA,3      ;ACTIVA BOBINAS HOT
0121 0031 0812      MOVF TEMPACTUALH,0      ;TEMPACTUALH =TEMP. EN EL RECIPIENTE HOT
0122 0032 0094      MOVWF TEMPDESEADA      ;TEMPDESEADA =TEMPACTUALH
0123 0033 2076      CALL PROGRAMAR      ;LLAMA A LA SUBROUTINA PROGRAMAR
0124 0034 1786      BSF PORTB,7      ;ENCIENDE HEATER1
0125 0035 1706      BSF PORTB,6      ;ENCIENDE HEATER2
0126 0036 284D      GOTO FIN_INT      ;VETE A FIN DE INTERRUPTCION
0127 0037 1D06 ES_FRIO      BTFSS PORTB,2      ;SALTA LA SIG. INST. SI ( ESTA PRESIONADO
0128 0038 283D      GOTO ESPERA      ;VETE A DARLE TIEMPO A QUE SE DECIDA
0129 0039 1386      BCF PORTB,7      ;APAGA HEATER1
0130 003A 1306      BCF PORTB,6      ;APAGA HEATER2
0131 003B 1585      BSF PORTA,3      ;ACTIVA BOBINAS COLD
0132 003C 284D      GOTO FIN_INT      ;VETE A FIN DE INTERRUPTCION
0133 003D 039B ESPERA      DECF CONT,1      ;CON ESTAS INSTRUCCIONES LO QUE SE HACE
0134 003E 1D03      BTFSS STATUS,2      ;ES DARLE UN TIEMPO DE APROXIMADAMENTE
0135 003F 282E      GOTO LOOP      ;UN SEGUNDO AL USUARIO PARA QUE SE DECIDA
0136 0040 0391      DECF CONTA,1      ;SI DESEA EL MODO CALIENTE O FRIO PARA LO
0137 0041 1D03      BTFSS STATUS,2      ;CUAL SE ESTAN REVISANDO CONSTANTEMENTE
0138 0042 282C      GOTO LOOP2      ;LAS TECLAS ( , Y SI AL TERMINO DEL TIEMPO
0139 0043 0390      DECF CONTA2,1      ;DE ESPERA EL USUARIO NO PRESIONO NINGUNA
0140 0044 1D03      BTFSS STATUS,2      ;DE ESTAS, ENTONCES QUIERE DECIR QUE EL
0141 0045 282A      GOTO LOOP3      ;USUARIO QUIERE PRENDER/APAGAR LA BOMBA
0142 0046 1C95      BTFSS VARIOS,1      ;SI EL BIT DE BOMBA ES 1 SALTA LA SIG. INST.
0143 0047 2848      GOTO BOMBA_ON      ;VETE A ENCENDER LA BOMBA
0144 0048 1095      BCF VARIOS,1      ;CON ESTAS DOS INST.
0145 0049 20A2      CALL SAL_VARIAS      ;APAGA LA BOMBA
0146 004A 284D      GOTO FIN_INT      ;VETE A FIN DE INTERRUPTCION
0147 004B 1495 BOMBA_ON      BSF VARIOS,1      ;CON ESTAS DOS INST.
0148 004C 20A2      CALL SAL_VARIAS      ;ENCIENDE LA BOMBA
0149 004D 000B FIN_INT      RETURN      ;FIN DE RUTINA DE INTERRUPTCION

0150      : *      :
0151      : *      :
0152      : *      RUTINA DE BARRIDO:AQUI SE BUSCA EN      :
0153      : *      UNA TABLA CUANTOS °C NOS REPRESENTA      :
0154      : *      EL VALOR PROVENIENTE DEL CONVERTIDOR      :
0155      : *      ANALÓGICO/DIGITAL      :
0156      : *      :
0157      : *      :

0158 004E 3000 BARRIDO      MOVWLW 00H
0159 004F 008C      MOVWF PASO      ;PASO=0
0160 0050 30D6      MOVWLW 00D6H
0161 0051 020D      SUBWF TEMPLEIDA,0      ;W=TEMPLEIDA-D6H(45°C)
0162 0052 1C03      BTFSS STATUS,0      ;SALTA LA SIG. INST. SI EL RESULTADO ES
POSITIVO
0163 0053 2856      GOTO ES_MENOR2
0164 0054 1D03      BTFSS STATUS,2      ;SALTA LA SIG. INST. SI EL RESULTADO ES CERO
0165 0055 286D      GOTO NO_HAY
0166 0056 301C ES_MENOR2      MOVWLW 1CH
0167 0057 020D      SUBWF TEMPLEIDA,0      ;W=TEMPLEIDA-1CH(2°C)
0168 0058 1C03      BTFSS STATUS,0      ;SALTA LA SIG. INST. SI EL RESULTADO ES
POSITIVO
0169 0059 286D      GOTO NO_HAY
0170 005A 060C SIG_DATO      MOVF PASO,0      ;W=PASO
0171 005B 140A      BSF PCLATH,0      ;DIRECCIONA EL PC
0172 005C 20FD      CALL TABLA      ;LLAMA A LA SUBROUTINA TABLA

```

```

0173 005D 009E      MOVWF TEMPDAT      ;TEMPDAT=W
0174 005E 020D      SUBWF TEMPLEIDA,0 ;W=TEMPLEIDA-W
0175 005F 1C03      BTFSSTATUS,0      ;SALTA LA SIG. INST. SI EL RESULTADO ES
POSITIVO
0176 0060 2854      GOTO FUE_NEG
0177 0061 1D03      BTFSSTATUS,2      ;SALTA LA SIG. INST. SI EL RESULTADO ES CERO
0178 0062 2897      GOTO FUE_POS
0179 0063 286A      GOTO ESTE_ES
0180 0064 038C FUE_NEG      DECF PASO,1
0181 0065 038C      DECF PASO,1
0182 0066 286A      GOTO ESTE_ES
0183 0067 0A8C FUE_POS      ;POSICIONATE EN EL SIG. VALOR HEXADECIMAL
0184 0068 0A8C      ;ALMACENADO
INCF PASO,1
0185 0069 285A      GOTO SIG_DATO
0186 006A 0A8C ESTE_ES      ;POSICIONATE EN LA CASILLA QUE CONTIENE LOS
0187 006B 20FD      ;VALORES CORRESPONDIENTES A DESPLEGAR
CALL TABLA
0188 006C 008F      MOVWF DATOS
0189 006D 30FF NO_HAY      MOVLW 00FF
0190 006E 006F      MOVWF DATOS
0191 006F 0008      RETURN            ;FIN DE SUBROUTINA

0192 .....
0193 .....
0194 .....
0195 .....
0196 .....
0197 .....
0198 .....
0199 .....

0200 0070 1686 ESC_DISPLAYH BSF PORTB,5      ;HABILITA EL CONVERTIDOR S-P DEL DISPLAY HOT
0201 0071 20AA      CALL TX_SERIE    ;LLAMA A LA RUTINA DE TRANSMISION SERIAL
0202 0072 1605      BSF PORTA,4      ;ACEPTA NUEVO DATO EN EL LATCH DEL DISP.HOT
0203 0073 0000      NOP              ;RETARDO
0204 0074 1205      BCF PORTA,4      ;RETEN EL VALOR ALMACENADO EN EL LATCH HOT
0205 0075 0008      RETURN            ;TERMINA SUBROUTINA

0206 .....
0207 .....
0208 .....
0209 .....
0210 .....
0211 .....
0212 .....

0213 0076 0814      PROGRAMAR
0214 0077 008D      MOVWF TEMPLEIDA ;TEMPLEIDA=TEMPDESEADA
0215 0078 1715      BSF VARIOS,6     ;CON ESTAS DOS INST.
0216 0079 20A2      CALL SAL_VARIAS  ;ENCIENDE EL LED PROG.
0217 007A 204E      CALL BARRIDO     ;LLAMA A LA RUTINA DE BARRIDO
0218 007B 038C      DECF PASO,1      ;POSICIONATE EN LA CASILLA DEL HEX
0219 007C 1C86LEER_ENT BTFSSTATUS,1      ;SALTA SI ( ESTA PRESIONADO
0220 007D 2890      GOTO ES_DEC      ;VE A VER SI QUIERE DECREMENTAR
0221 007E 0A8C      INCF PASO,1      ;POSICIONATE EN EL SIG. VALOR
0222 007F 0A8C      INCF PASO,1      ;HEXADECIMAL DE LA TABLA
0223 0080 2883      GOTO CONT_PROG
0224 0081 038C DECREASE DECF PASO,1
0225 0082 038C      DECF PASO,1      ;POSICIONATE EN EL ANTERIOR VALOR
0226 0083 090C CONT_PROG MOVF PASO,0
0227 0084 140A      BSF PCLATH,0     ;HEXADECIMAL DE LA TABLA
0228 0085 20FD      CALL TABLA
0229 0086 0094      MOVWF TEMPDESEADA ;TEMPDESEADA=W=DATO DE TABLA EN HEX
0230 0087 0A8C      INCF PASO,1      ;POSICIONATE EN LA SIG. CASILLA
0231 0088 140A      BSF PCLATH,0     ;DIRECCIONA PC A LA PAG. DE LA TABLA
0232 0089 20FD      CALL TABLA
0233 008A 008F      MOVWF DATOS
0234 008B 2070      CALL ESC_DISPLAYH ;DATOS=W=VALORES DE DESPLIEGUE
0235 008C 038C      DECF PASO,1      ;DESPLIEGA DATOS EN DISPLAY HOT
0236 008D 20EC      CALL DECIMAS     ;APUNTA A LA CASILLA DEL HEX DESPLEG
;ESPERA UNOS MOMENTOS

```

```

0237 008E 1086          BCF PORTB,1          ;LIMPIA EL VALOR DEL PIN RB1
0238 008F 287C          GOTO LEER_ENT        ;VE A REVISAR LAS TECLAS ( Y (
0239 0090 1906 ES_DEC   BTFSK PORTB,2        ;SALTA SI ( NO ESTA PRESIONADA
0240 0091 2681          GOTO DECRE
0241 0092 0A98          INCF CONT,1          ;CONT=CONT+1
0242 0093 0816          MOVF LIMITE,0        ;W=LIMITE(RETARDO)
0243 0094 021B          SUBWF CONT,0         ;W=CONT-W=CONT-LIMITE
0244 0095 1D03          BTFSK STATUS,2      ;SALTA SI EL RESULTADO FUE CERO
0245 0096 287C          GOTO LEER_ENT        ;VUELVE A REVISAR TACLAS ( Y (
0246 0097 038C          DECF PASO,1         ;SI LLEGO AQUI, QUIERE DECIR QUE YA
0247 0098 038C          DECF PASO,1         ;TIENE LA TEMPDESEADA, CON ESTAS INST
0248 0099 140A          BSF PCLATH,0        ;VOY A SITUARME EN EL VALOR ANTERIOR
0249 009A 20FD          CALL TABLA           ;A TEMPDESEADA EN LA TABLA Y ESTE VA
0250 009B 0097          MOVWF TEMPLIMITE    ;A SER NUESTRO TEMP_LIMITE (CONTROL)
0251 009C 1418          BSF BANDERAS,0     ;ENCIENDO LA BANDERA DE CONTROL
0252 009D 3000          MOVLW 00H
0253 009E 009B          MOVWF CONT          ;CONT=0
0254 009F 1315          BCF VARIOS,6        ;CON ESTAS DOS INST. APAGA
0255 00A0 20A2          CALL SAL_VARIAS     ;EL LED PROG.
0256 00A1 0008          RETURN              ;FIN DE SUBROUTINA

0257          ;.....
0258          ;.
0259          ;.          RUTINA SAL_VARIAS          ;.
0260          ;.
0261          ;.....

0262 00A2 1286 SAL_VARIAS BCF PORTB,5          ;HABILITA EL CONVERTIDOR S-P VARIOS
0263 00A3 0815          MOVF VARIOS,0       ;W=VARIOS=SAIDAS DE CONTROL
0264 00A4 00BF          MOVWF DATOS         ;DATOS=VARIOS
0265 00A5 20AA          CALL TX_SERIE       ;TRANSMITE DATOS EN FORMA SERIAL
0266 00A6 1485          BSF PORTA,1         ;ACEPTA NUEVO DATO EN EL LATCH DE VARIOS
0267 00A7 0000          NOP                 ;TIEMPO DE ESPERA
0268 00A8 1085          BCF PORTA,1         ;RETEN EL VALOR ALMACENADO EN EL VARIOS
0269 00A9 0008          RETURN              ;FIN DE SUBROUTINA

0270          ;.....
0271          ;.
0272          ;.          RUTINA TX_SERIE          ;.
0273          ;.
0274          ;.....

0275 00AA 3007 TX_SERIE   MOVLW 07H           ;W=07H
0276 00AB 009B          MOVWF CONT          ;CONT=W
0277 00AC 1F8F SIG_BIT   BTFSK DATOS,7       ;SALTA LA SIG.INST. SI EL BIT7DE DATOS ES 1
0278 00AD 28B0          GOTO FUE_CERO       ;VETE A FUE_CERO
0279 00AE 1586          BSF PORTB,3         ;PON UN 1 EN LA LINEA DE SALIDA DATOS
0280 00AF 28B1          GOTO RELOJ
0281 00B0 1186 FUE_CERO BCF PORTB,3         ;PON UN 0 EN LA LINEA DE SALIDA DATOS
0282 00B1 1606 RELOJ    BSF PORTB,4         ;PON UN 1 EN LA LINEA DE SALIDA RELOJ (CLK)
0283 00B2 0000          NOP                 ;ESPERA (ALARGA EL PULSO)
0284 00B3 1206          BCF PORTB,4         ;PON UN 0 EN LA LINEA DE SALIDA RELOJ
0285 00B4 0D8F          RLF DATOS,1         ;ROTA HACIA LA IZQUIERDA A DATOS
0286 00B5 039B          DECF CONT,1         ;CONT=CONT-1
0287 00B6 1D03          BTFSK STATUS,2      ;SALTA LA SIG.INST. SI EL RESULTADO FUE 0
0288 00B7 28AC          GOTO SIG_BIT        ;VETE A TRANSMITIR EL SIG. BIT
0289 00B8 0008          RETURN              ;FIN DE RUTINA

0290          ;.....
0291          ;.
0292          ;.          RUTINA DE CONVERSIÓN A/D          ;.
0293          ;.
0294          ;.....

0295 00B9 1683 CONVERSIÓN BSF STATUS,5        ;SELECT BANK1
0296 00BA 3002          MOVLW 02H
0297 00BB 0088          MOVWF ADCON1
0298 00BC 1253          BCF STATUS,5        ;RA0:RA1=ANALOG,RA3:RA4=DIGITAL,VREF=VDD
0299 00BD 30B1          MOVLW 81H          ;SELECT BANK0

```

```

0300 008E 0088      MOVWF ADCON0      ;THOLD=FOSC/32,HOT,MODULO A/D=ON
0301 00BF 1283      BCF STATUS,5     ;SELECT BANK0
0302 00C0 0000      NOP
0303 00C1 0000      NOP
0304 00C2 0000      NOP
0305 00C3 0000      NOP
0306 00C4 0000      NOP
0307 00C5 1283      BCF STATUS,5     ;SELECT BANK1
0308 00C6 3085      MOVLW 85H
0309 00C7 0088      MOVWF ADCON0     ;INICIA CONVERSION A/D
0310 00C8 1C88 ESPERA1  BTFSF ADCON0,1   ;ESPERA FIN DE CONVERSIÓN
0311 00C9 28C8      GOTO ESPERA1
0312 00CA 0809      MOVF ADRES,0     ;PONER EL RESULTADO EN W
0313 00CB 1088      BCF ADCON0,1     ;LIMPIA BANDERA DE FIN DE CONVERSIÓN
0314 00CC 0092      MOVWF TEMPACTUALH ;GUARDA EL VALOR EN TEMPACTUALH
0315 00CD 0000      NOP
0316 00CE 0000      NOP
0317 00CF 0000      NOP
0318 00D0 1683      BSF STATUS,5     ;SELECT BANK1
0319 00D1 3002      MOVLW 02H
0320 00D2 0088      MOVWF ADCON1     ;RAD:RA1=ANALOG,RA3:RA4=DIGITAL, VREF=VDD
0321 00D3 1283      BCF STATUS,5     ;SELECT BANK0
0322 00D4 3089      MOVLW 89H
0323 00D5 0088      MOVWF ADCON0     ;THOLD=FOSC/32,COLD,MODULO A/D=ON
0324 00D6 1283      BCF STATUS,5     ;SELECT BANK0
0325 00D7 0000      NOP
0326 00D8 0000      NOP
0327 00D9 0000      NOP
0328 00DA 0000      NOP
0329 00DB 0000      NOP
0330 00DC 1283      BCF STATUS,5     ;SELECT BANK1
0331 00DD 308D      MOVLW 8DH
0332 00DE 0088      MOVWF ADCON0     ;INICIA CONVERSION A/D
0333 00DF 1C88 ESPERA2  BTFSF ADCON0,1   ;ESPERA FIN DE CONVERSIÓN
0334 00E0 28DF      GOTO ESPERA2
0335 00E1 0809      MOVF ADRES,0     ;PONER EL RESULTADO EN W
0336 00E2 0188      CLRWF ADCON0     ;LIMPIA ADCON0
0337 00E3 1103      BCF STATUS,2
0338 00E4 0093      MOVWF TEMPACTUALC ;GUARDA EL VALOR EN TEMPACTUALC
0339 00E5 0008      RETURN

0340      .....
0341      *
0342      *   RUTINA ESC_DISPLAYC   *
0343      *
0344      .....

0345 00E6 1686 ESC_DISPLAYC BSF PORTB,5     ;HABILITA EL CONVERTIDOR S-P DEL DISPLAY COLD
0346 00E7 20AA      CALL TX_SERIE   ;LLAMA A LA RUTINA DE TRANSMISION SERIAL
0347 00E8 1705      BSF PORTA,6     ;ACEPTA NUEVO DATO EN EL LATCH DEL
DISP.COLD
0348 00E9 0000      NOP             ;RETARDO
0349 00EA 1305      BCF PORTA,6     ;RETEN EL VALOR ALMACENADO EN EL LATCH
COLD
0350 00EB 0008      RETURN         ;TERMINA SUBRUTINA

0351      .....
0352      *
0353      *   RETARDO 3 DECIMAS   *
0354      *
0355      .....

0356 00EC 1683 DECIMAS      BSF STATUS,5     ;CAMBIAR PAG 1
0357 00ED 20EF OTRO        CALL TIME        ;VE A RUTINA DE RETARDO
0358 00EE 28FC      GOTO FUERA
0359 00EF 3061 TIME        MOVLW 61H       ; RUTINA DE TIEMPO
0360 00F0 009E      MOVWF COUNT3
0361 00F1 3002 LAZO2       MOVLW 02H
0362 00F2 009D      MOVWF COUNT2    ;TIMES TO REPEAT

```

0363	00F3	019C	CLRF HOLA1	:CLEAR HOLA1 TO BEGIN
0364	00F4	1103	BCF STATUS,2	
0365	00F5	0F9C	INCFSZ HOLA1	:REPEAT THIS LOOP
0366	00F6	28F5	GOTO LAZO	:256 TIMES
0367	00F7	089D	DECFSZ COUNT2	:DECREMENT TIMES TO REPEAT
0368	00F8	28F5	GOTO LAZO	
0369	00F9	089E	DECFSZ COUNT3	
0370	00FA	28F1	GOTO LAZO2	
0371	00FB	0008	RETURN	
0372	00FC	0008	RETURN	

```

0373  :.....
0374  :*                               *
0375  :*           RUTINA TABLA       *
0376  :*                               *
0377  :.....

```

0378	00FD	0782	TABLA	ADDWF PCL,1
0379	00FE	3413		RETLW 13H
0380	00FF	3402		RETLW 02H
0381	0100	3415		RETLW 15H
0382	0101	3403		RETLW 03H
0383	0102	3416		RETLW 16H
0384	0103	3404		RETLW 04H
0385	0104	3418		RETLW 18H
0386	0105	3404		RETLW 04H
0387	0106	341A		RETLW 1AH
0388	0107	3404		RETLW 04H
0389	0108	341C		RETLW 1CH
0390	0109	3405		RETLW 05H
0391	010A	341E		RETLW 1EH
0392	010B	3405		RETLW 05H
0393	010C	3420		RETLW 20H
0394	010D	3406		RETLW 06H
0395	010E	3421		RETLW 21H
0396	010F	3406		RETLW 06H
0397	0110	3423		RETLW 23H
0398	0111	3407		RETLW 07H
0399	0112	3425		RETLW 25H
0400	0113	3407		RETLW 07H
0401	0114	3427		RETLW 27H
0402	0115	3408		RETLW 08H
0403	0116	3429		RETLW 29H
0404	0117	3408		RETLW 08H
0405	0118	342B		RETLW 2BH
0406	0119	3409		RETLW 09H
0407	011A	342D		RETLW 2DH
0408	011B	3409		RETLW 09H
0409	011C	342F		RETLW 2FH
0410	011D	3410		RETLW 10H
0411	011E	3430		RETLW 30H
0412	011F	3410		RETLW 10H
0413	0120	3433		RETLW 33H
0414	0121	3411		RETLW 11H
0415	0122	3434		RETLW 34H
0416	0123	3411		RETLW 11H
0417	0124	3437		RETLW 37H
0418	0125	3412		RETLW 12H
0419	0126	3438		RETLW 38H
0420	0127	3412		RETLW 12H
0421	0128	343A		RETLW 3AH
0422	0129	3413		RETLW 13H
0423	012A	343C		RETLW 3CH
0424	012B	3413		RETLW 13H
0425	012C	343E		RETLW 3EH
0426	012D	3414		RETLW 14H
0427	012E	3440		RETLW 40H
0428	012F	3414		RETLW 14H
0429	0130	3442		RETLW 42H

0430	0131	3415	RETLW	15H
0431	0132	3444	RETLW	44H
0432	0133	3415	RETLW	15H
0433	0134	3446	RETLW	46H
0434	0135	3416	RETLW	16H
0435	0136	3448	RETLW	48H
0436	0137	3416	RETLW	16H
0437	0138	344A	RETLW	4AH
0438	0139	3417	RETLW	17H
0439	013A	344C	RETLW	4CH
0440	013B	3417	RETLW	17H
0441	013C	344E	RETLW	4EH
0442	013D	3418	RETLW	18H
0443	013E	3450	RETLW	50H
0444	013F	3418	RETLW	18H
0445	0140	3452	RETLW	52H
0446	0141	3419	RETLW	19H
0447	0142	3454	RETLW	54H
0448	0143	3419	RETLW	19H
0449	0144	3456	RETLW	56H
0450	0145	3420	RETLW	20H
0451	0146	3458	RETLW	58H
0452	0147	3420	RETLW	20H
0453	0148	345A	RETLW	5AH
0454	0149	3421	RETLW	21H
0455	014A	345C	RETLW	5CH
0456	014B	3421	RETLW	21H
0457	014C	345E	RETLW	5EH
0458	014D	3422	RETLW	22H
0459	014E	3460	RETLW	60H
0460	014F	3422	RETLW	22H
0461	0150	3462	RETLW	62H
0462	0151	3423	RETLW	23H
0463	0152	3464	RETLW	64H
0464	0153	3423	RETLW	23H
0465	0154	3466	RETLW	66H
0466	0155	3424	RETLW	24H
0467	0156	3468	RETLW	68H
0468	0157	3424	RETLW	24H
0469	0158	346A	RETLW	6AH
0470	0159	3425	RETLW	25H
0471	015A	346C	RETLW	6CH
0472	015B	3425	RETLW	25H
0473	015C	346E	RETLW	6EH
0474	015D	3426	RETLW	26H
0475	015E	3470	RETLW	70H
0476	015F	3426	RETLW	26H
0477	0160	3472	RETLW	72H
0478	0161	3427	RETLW	27H
0479	0162	3474	RETLW	74H
0480	0163	3427	RETLW	27H
0481	0164	3476	RETLW	76H
0482	0165	3428	RETLW	28H
0483	0166	3477	RETLW	77H
0484	0167	3428	RETLW	28H
0485	0168	347A	RETLW	7AH
0486	0169	3429	RETLW	29H
0487	016A	347B	RETLW	7BH
0488	016B	3429	RETLW	29H
0489	016C	347D	RETLW	7DH
0490	016D	3427	RETLW	27H
0491	016E	347F	RETLW	7FH
0492	016F	3430	RETLW	30H
0493	0170	3481	RETLW	81H
0494	0171	3431	RETLW	31H
0495	0172	3483	RETLW	83H
0496	0173	3431	RETLW	31H
0497	0174	3485	RETLW	85H
0498	0175	3432	RETLW	32H

0499	0176	3486	RETLW 86H
0500	0177	3432	RETLW 32H
0501	0178	3489	RETLW 89H
0502	0179	3433	RETLW 33H
0503	017A	348A	RETLW 8AH
0504	017B	3433	RETLW 33H
0505	017C	348C	RETLW 8CH
0506	017D	3434	RETLW 34H
0507	017E	348D	RETLW 8DH
0508	017F	3434	RETLW 34H
0509	0180	3490	RETLW 90H
0510	0181	3435	RETLW 35H
0511	0182	3491	RETLW 91H
0512	0183	3435	RETLW 35H
0513	0184	3493	RETLW 93H
0514	0185	3436	RETLW 36H
0515	0186	3494	RETLW 94H
0516	0187	3436	RETLW 36H
0517	0188	3496	RETLW 96H
0518	0189	3437	RETLW 37H
0519	018A	3498	RETLW 98H
0520	018B	3437	RETLW 37H
0521	018C	349A	RETLW 9AH
0522	018D	3438	RETLW 38H
0523	018E	349B	RETLW 9BH
0524	018F	3438	RETLW 38H
0525	0190	349D	RETLW 9DH
0526	0191	3439	RETLW 39H
0527	0192	349E	RETLW 9EH
0528	0193	3439	RETLW 39H
0529	0194	34A0	RETLW A0H
0530	0195	3440	RETLW 40H
0531	0196	34A2	RETLW A2H
0532	0197	3440	RETLW 40H
0533	0198	34A3	RETLW A3H
0534	0199	3441	RETLW 41H
0535	019A	34A5	RETLW A5H
0536	019B	3441	RETLW 41H
0537	019C	34A7	RETLW A7H
0538	019D	3442	RETLW 42H
0539	019E	34A8	RETLW A8H
0540	019F	3442	RETLW 42H
0541	01A0	34AA	RETLW AAH
0542	01A1	3443	RETLW 43H
0543	01A2	34AB	RETLW ABH
0544	01A3	3443	RETLW 43H
0545	01A4	34AD	RETLW ADH
0546	01A5	3444	RETLW 44H
0547	01A6	34AE	RETLW AEH
0548	01A7	3444	RETLW 44H
0549	01A8	34AF	RETLW AFH

Con este el listado del programa se termina el diseño del intercambiador de temperatura y en el siguiente capítulo se realizará el diseño de la bomba de rodillos.

BOMBA DE RODILLOS

Después de haber diseñado el intercambiador de temperatura, el siguiente equipo a diseñar será la bomba de rodillos.

DISEÑO DE LA BOMBA DE RODILLOS

La bomba de rodillos y su controlador forman parte esencial en el sistema de perfusión, ya que ésta se va a encargar de suministrar flujo sanguíneo o solución de cardioplegia al paciente o bien extraer del paciente la sangre de la cavidad operatoria (sangre sucia); la bomba será indicada por la función que desarrolle: bomba de cardioplegia, de succión o arterial.

La bomba de rodillos es un equipo que permite impulsar el flujo de sangre en el sistema de perfusión a través de una manguera para ser retirada del

paciente para regresar a éste después de ser oxigenada y purificada. Esta bomba aloja en su interior una manguera y mediante un impulsor de rodillos, acoplado al eje de rotación, captura y proporciona desplazamiento de un volumen de sangre al obturar dos extremos de la manguera y al girar desplazar este volumen a través de la longitud de la manguera como se puede observar en la figura 4.1.

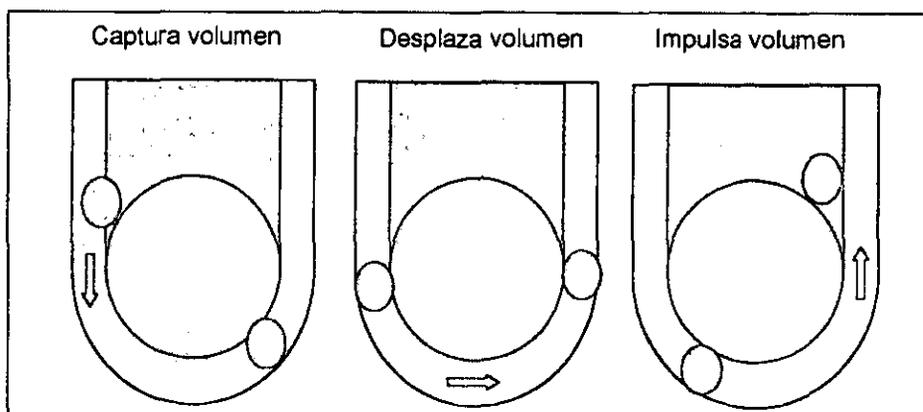


Figura 4.1. Sistema de bombeo por cabezal de bomba de rodillos con manguera flexible.

En el mercado existen marcas de bombas que permiten el uso de mangueras de PVC con diámetros internos de $1/4''$ a $5/8''$ y pared de $5/32''$, o mangueras de silicón con diámetros internos de $3/16''$ a $5/8''$ y pared de $1/8''$, las cuales son capaces de desplazar un gasto que va desde 20 ml/min hasta 10 lt/min , dependiendo de la velocidad de giro del cabezal.

Dado que para la aplicación de perfusión el gasto de sangre suministrada por la bomba es crítico, es imprescindible que cualquier bomba que se utilice en esta aplicación tenga la capacidad de monitoreo del gasto suministrado. Para un gasto específico se tiene como valor constante el diámetro interno de la manguera

utilizada durante la cirugía, mientras que la única variable que resta es la velocidad, la cual se deberá monitorear y controlar.

El funcionamiento general de la bomba de rodillos se inicia cuando el perfusionista la enciende, siendo recomendable que la perilla de control de velocidad se encuentre en la posición de velocidad cero y de ahí se seleccionará el sentido de giro, para después proceder a incrementar la velocidad hasta llegar a la velocidad que nos proporcione el gasto de sangre requerido dependiendo del diámetro de manguera utilizado. Su operación podrá ser suspendida por dos señales de paro adicionales a la del tablero, las cuales provendrán del *AEPS* y/o del *microswitch* de la tapa que detecta la posición de la tapa (abierta o cerrada).

Una vez establecidas las condiciones de funcionamiento de una bomba de rodillos para el uso de perfusión, podemos proponer los elementos que conformarán este equipo, el cual estará integrado por los siguientes módulos: módulo de bombeo, un módulo de *interface* con el usuario, un módulo de control y procesamiento de datos, un módulo de *interface* con señal de paro externa y la fuente de alimentación de los circuitos eléctricos. A continuación se describen brevemente las funciones de cada módulo.

Módulo de bombeo: Este módulo estará a cargo de impulsar la sangre con el flujo que el usuario requiera, el flujo estará en función directa a la velocidad de rotación de un motor y al volumen de sangre atrapada entre los rodillos, por lo que estará constituido por:

- ◇ *Módulo impulsor de flujo:* como ya se mencionó anteriormente, la forma en que se impulsará la sangre será por medio de un cabezal de rodillos acoplado a un motor.

- ◊ *Módulo de control de velocidad:* Es el dispositivo que se encargará de controlar la velocidad del motor.

- ◊ *Módulo de monitoreo de velocidad:* Este módulo se encargará de medir la velocidad de giro del cabezal de rodillos.

Módulo de interface con el usuario: Este módulo al igual que en el intercambiador de temperatura contará con dos submódulos (entradas y salidas) y permitirá la selección del sentido de giro, diámetro de la manguera, tipo de datos a desplegar (velocidad en *r.p.m.* o el gasto en *l.p.m.*), mostrar visualmente el modo de operación y en conjunto con el módulo de bombeo poder variar la velocidad de los rodillos.

Módulo de control y procesamiento de datos: Este módulo procesará las señales de entrada, para poder controlar los indicadores visuales y llevar a cabo los procedimientos necesarios para cumplir con lo requerido por el usuario.

Módulo de Interface externa de paro: Es la parte del sistema que se encarga de recibir la señal externa de paro, para interrumpir el funcionamiento de la bomba.

Módulo de fuente de alimentación: Se encargará de suministrar la energía eléctrica suficiente para alimentar los diferentes módulos de la bomba de rodillos.

Todos estos módulos interactuarán entre sí para el óptimo funcionamiento de la bomba, esto se muestra en la figura 4.2.

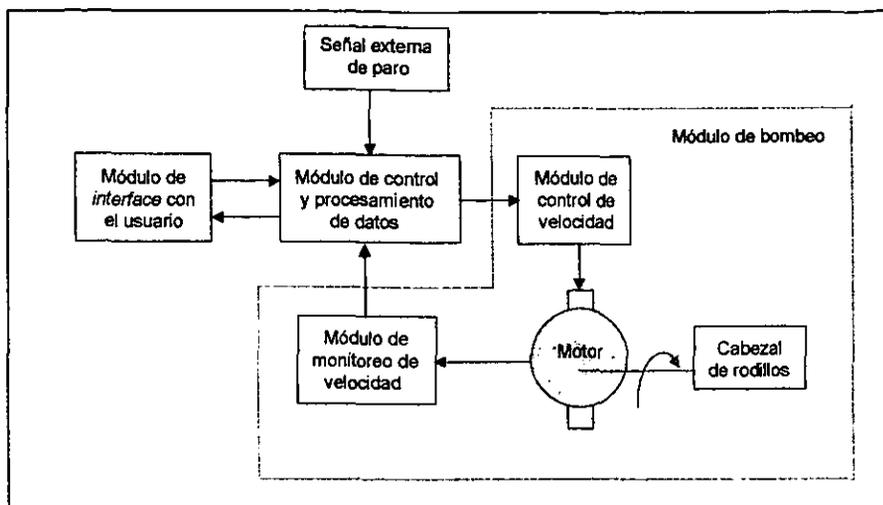


Figura 4.2. Diagrama a bloques del controlador de la bomba de rodillos.

Del diagrama a bloques anterior se procederá a diseñar los módulos que lo constituyen.

Módulo impulsor de flujo (cabezal de rodillos)

En la actualidad existe una gran cantidad de equipos que utilizan cabezales de rodillos para impulsar fluidos, y éstos van desde 2 hasta 14 rodillos o más. Entre más rodillos tenga el cabezal se tiene un control preciso del flujo impulsado, pudiendo manejarse flujos sumamente pequeños con relativa facilidad, debido a que el flujo atrapado entre los rodillos es pequeño, esto sería de gran utilidad para el manejo de pacientes neonatos. Sin embargo, el empleo de un número mayor de rodillos origina un porcentaje mayor de destrucción de glóbulos rojos (hemólisis) en perjuicio del paciente.

En el presente diseño se requiere manejar un flujo mínimo de 20 *ml/min*; el cual los perfusionistas han determinado que es el límite inferior para el manejo de pacientes neonatos; en cuanto a pacientes adultos se ha determinado que el

promedio de flujo requerido se encuentra alrededor de 8 *lt/min.*; sin embargo, en algunas ocasiones se tienen registros en los que se han necesitado hasta 9.5 *lt.* Por todo lo anterior se optó por utilizar un cabezal de dos rodillos, el cual existe en el mercado y puede manejar perfectamente el gasto que se desea y que oscila desde 20 *ml/min* hasta 10 *lt/min.* Así, enfocaremos nuestra atención en el diseño del control de la velocidad del motor.

Los fabricantes de cabezales para perfusión tienen sus dimensiones estandarizadas de forma tal que con una manguera de 1/4" y una *r.p.m.* se pueda obtener un gasto de 13 *ml/min* y con una manguera de 1/2" y 250 *r.p.m.* se pueda obtener un gasto mayor a 10 *lt/min.* El flujo impulsado por un cabezal de rodillos está en función de la velocidad de giro del cabezal y del volumen atrapado entre los rodillos el cual es constante y depende únicamente del diámetro interno de la manguera; el flujo se puede entonces determinar con la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo [LPM]} = \text{velocidad [RPM]} * \text{constante de flujo de la manguera} \left[\frac{\text{LPM}}{\text{RPM}} \right]$$

En la figura 4.3 se muestra una tabla en donde se observan las constantes para los diferentes diámetros de manguera y el flujo que se obtendría para varias velocidades.

Para proporcionar las velocidades requeridas por el cabezal de rodillos se necesita un motor que impulse a este cabezal, el cual debe cumplir con las siguientes características.

RPM	FLUJOS			
	1/4 "	3/8 "	1/2 "	5/8 "
1	0.013	0.027	0.045	0.064
10	0.130	0.270	0.450	0.640
20	0.260	0.540	0.900	1.280
30	0.390	0.810	1.350	1.920
40	0.520	1.080	1.800	2.560
50	0.650	1.350	2.250	3.200
60	0.780	1.620	2.700	3.840
70	0.910	1.890	3.150	4.480
80	1.040	2.160	3.600	5.120
90	1.170	2.430	4.050	5.760
100	1.300	2.700	4.500	6.400
110	1.430	2.970	4.950	7.040
120	1.560	3.240	5.400	7.680
130	1.690	3.510	5.850	8.320
140	1.820	3.780	6.300	8.960
150	1.950	4.050	6.750	9.600
160	2.080	4.320	7.200	10.240
170	2.210	4.590	7.650	10.880
180	2.340	4.860	8.100	11.520
190	2.470	5.130	8.550	12.160
200	2.600	5.400	9.000	12.800
210	2.730	5.670	9.450	13.440
220	2.860	5.940	9.900	14.080
230	2.990	6.210	10.350	14.720
240	3.120	6.480	10.800	15.360
250	3.250	6.750	11.250	16.000

Figura 4.3. Tabla comparativa del flujo impulsado por diferentes calibres de manguera.

Características del motor. El motor deberá permitir un control preciso de su velocidad y cambio en su sentido de rotación, dicha forma de control deberá ser eficiente y económica; además se desea que el motor sea lo más compacto posible.

Se analizaron las características de los motores de C.A y de C.D. llegándose a las siguientes conclusiones:

- ◊ Para motores pequeños de C.A. es más difícil de controlar la velocidad en comparación con los motores de C.D.

- ◊ La variación de la velocidad de un motor de *C.D.* se puede lograr variando el voltaje de alimentación en sus terminales de entrada, teniéndose que a mayor voltaje hay mayor velocidad. La forma de variar el voltaje de alimentación del motor puede ser mediante un circuito *chopper*.
- ◊ El cambio del sentido de giro de un motor de *C.D.* es más fácil hacerlo que en un motor de *C.A.*, ya que esto se logra con la simple inversión de la polaridad del voltaje en las terminales de alimentación del motor.

Por estas razones, se optó por utilizar un motor de *C.D.* Entre los diferentes modelos y marcas destaca el fabricado por *PMI Motion Technologies* y el fabricado por *Alsthom-Brown Boveri*.

Basándose en lo anterior y puesto que están diseñados para trabajar en un rango de 3,000 *r.p.m.* se incluirá un reductor de velocidad del motor por medio de una banda y poleas, ya que se requiere que el cabezal gire a 250 *r.p.m.* máximo. Una forma de determinar el factor de reducción, conociendo tanto la velocidad del motor como la velocidad máxima deseada pero utilizando una velocidad en el motor de 2,000 *r.p.m.*, será mediante la relación:

$$r = \frac{\text{Velocidad del motor de CD}}{\text{Velocidad del cabezal}} = \frac{2,000 \text{ r.p.m.}}{250 \text{ r.p.m.}} = 8$$

Esto da una relación de 8:1.

Con las características de operación de la bomba ya definidas se procederá al diseño del módulo de monitoreo de velocidad.

4.1 DISEÑO DEL MÓDULO DE MONITOREO DE VELOCIDAD (TACÓMETRO)

Características: Para el diseño del monitoreo de velocidad del cabezal de rodillos se ha definido su operación desde 1 *r.p.m.* hasta 250 *r.p.m.*, por lo tanto este módulo debe ser capaz de medir la velocidad en este rango, además de mantener almacenada la información para cuando sea requerida.

Para medir la velocidad se propone utilizar un disco que tenga marcas equidistantes angulares, colocando un emisor y un sensor de luz que nos permitan leer el desplazamiento de este disco, pasar esta señal a dos contadores binarios para saber la cantidad de pulsos en un periodo determinado. A la salida de éstos se tendrá en forma de líneas paralelas un código binario natural de 8 *bits* que nos represente la velocidad del cabezal, la cual será enviada posteriormente al módulo de procesamiento de datos y control.

Basándose en esto, el tacómetro consistirá de los siguientes elementos: un disco con marcas, un *switch* óptico, dos contadores y un oscilador monoestable, como se puede observar en la figura 4.4.

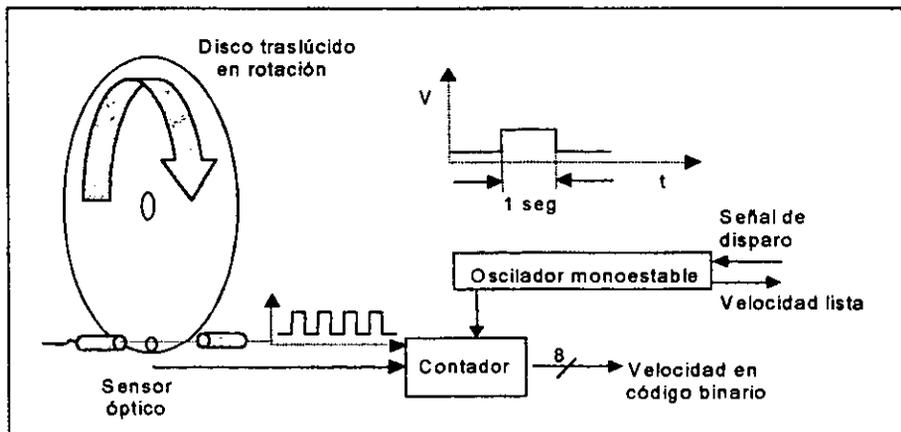


Figura 4.4. Circuito simplificado de funcionamiento del sensor de velocidad.

Disco con marcas: Es un disco plástico que está dividido en sectores equidistantes y cada sector se conforma por una sección traslúcida y otra opaca sucesivamente. Éste se acoplará a la flecha del cabezal y girará delante de un dispositivo de lectura fijo que produce una señal eléctrica en correspondencia con cada sector. La figura 4.5 muestra los elementos que conforman este tipo de disco.

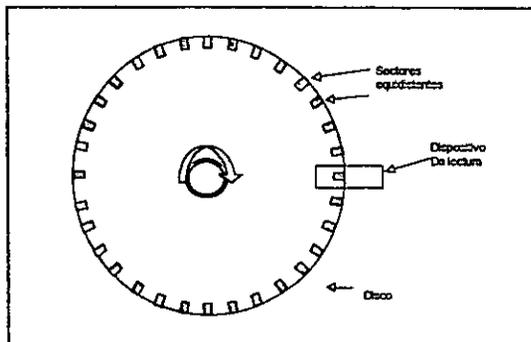


Figura 4.5. Disco con marcas para monitoreo de la velocidad angular.

El disco nos deberá permitir el paso de luz a través de él con distorsión y atenuación mínimas, para esto utilizaremos un disco plástico con áreas transparentes y áreas opacas, las cuales obstruirán y dejarán pasar el haz de luz del elemento emisor hacia el elemento sensor. A continuación se procederá al diseño de dicho disco.

Las variables importantes de este disco serán tanto el grosor como el diámetro y estará de acuerdo a las siguientes consideraciones. Un disco con diámetro arriba de los 20 cm de diámetro permitiría la división de marcas en su perímetro con bastante facilidad, sin embargo presentaría la desventaja de implementar un control estricto de balance, ya que entre más grande sea este disco es posible que sufra oscilaciones en sus extremos conforme aumente la velocidad. En cambio, un disco con diámetro reducido, menor a los 10 cm,

presentaría el problema de colocar un número de marcas adecuadas en su perímetro, aunque quedaría exento de deformaciones en sus extremos al girar a máxima velocidad. Además para el grosor debe satisfacer la medida que tiene el *switch* óptico entre emisor y receptor la cual es 3.07 mm .

De acuerdo a lo anterior se decidió utilizar un disco similar al de un disco compacto comercial el cual tiene un diámetro de 12 cm y un espesor aproximadamente de 1.2 mm el cual satisface plenamente la instalación del sensor electrónico entre sus caras para el monitoreo de la velocidad.

Por simplicidad, se decidió crear una ventana de muestreo como se observa en la figura 4.6, la cual tendrá una duración de 1 seg. en el que se habilitará a los contadores, con lo que se logra que sólo pueden incrementarse durante el tiempo de duración de la ventana y el valor obtenido en los contadores dependerá del número de pulsos generados por el *switch* óptico durante 1 seg.

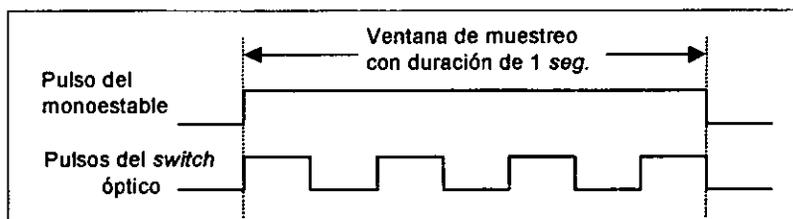


Figura 4.6. Ventana de muestreo de datos de velocidad.

Con la finalidad de que fuera lineal la correspondencia entre el número de revoluciones con las marcas, el número de marcas que se instalarán en el perímetro del disco será de 60. A cada marca opaca con su respectivo espacio en blanco le llamaremos *periodo*, con lo que tendremos, por ejemplo, que para una revolución por minuto habrá pasado un periodo por el *switch* óptico.

A lo largo del perímetro del disco, el espaciamento angular que tendrán estas marcas será:

$$\text{relación} = \frac{360^\circ}{60 \text{ periodos}} = \frac{6^\circ}{1 \text{ periodo}}$$

Como un periodo se forma de un espacio transparente y una marca opaca, considerando que el espacio y la marca están equidistantes, deducimos que el ángulo que tendrán éstas será igual a 3°. La longitud de los segmentos que conforman cada periodo sobre el perímetro del disco de 12 cm es:

$$L_{\text{Periodo}} = \frac{D * \pi}{60} = \frac{12 * \pi}{60} = 0.629 \frac{\text{cm}}{\text{periodo}}$$

Como ambos segmentos dentro del periodo son iguales en dimensiones tenemos que:

$$L_{\text{segmento}} = \frac{L_{\text{Periodo}}}{2} = 0.31 \frac{\text{cm}}{\text{segmento}}$$

Tenemos que a 250 r.p.m., la velocidad lineal en el perímetro del disco es:

$$V_{\text{lineal}} = \frac{D * \pi * r.p.m.}{60} = \frac{12 * \pi * 250}{60} = 157.08 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

El tiempo que tarda en recorrer la distancia transparente de 0.31 cm es de:

$$t = \frac{L_{\text{segmento}}}{V_{\text{lineal}}} = \frac{0.31}{157.08} = 1.97 \text{ ms}$$

Con esto concluimos que el elemento *switch* óptico deberá responder a una velocidad de transición de estados menor a 1.97 ms.

Dentro del mercado nacional se encontró que uno de los *switches* ópticos que satisface este valor es el de la marca Motorola con número MOC75T1, el cual cumple con esta característica al tener una velocidad de respuesta de encendido de $1.2 \mu s$ y una velocidad de apagado de $1.2 \mu s$ y que entrega un nivel lógico compatible con *TTL*. En la figura 4.7 se ilustra un arreglo esquemático entre el disco y el *switch* óptico y la señal eléctrica generada.

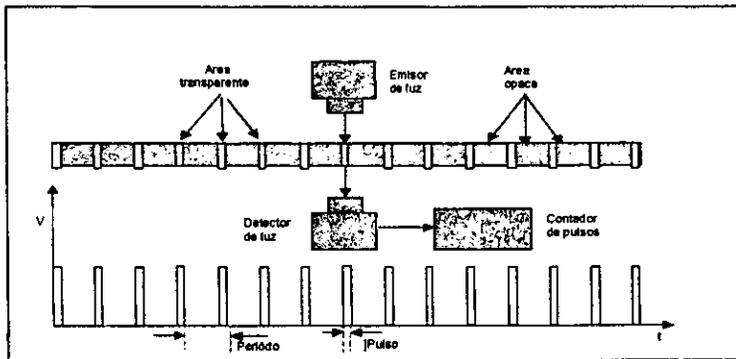


Figura 4.7. Circuito de muestreo del *switch* óptico.

El circuito eléctrico que se diseñará para el funcionamiento del *switch* deberá suministrar las características para que la salida de éste se pueda conectar a la siguiente etapa acondicionadora para continuar con lógica *TTL*, lo cual implica que debe operar a un voltaje de 0-5 *Volts*. En la figura 4.8 se muestra el circuito propuesto, se observa que se cuenta con dos etapas, la primera es el circuito de polarización diodo emisor de luz y la segunda es una compuerta *AND* activada por la luz del emisor del diodo. La salida de esta compuerta *AND* entregará un tren de pulsos.

Para el cálculo de la resistencia R_1 , se observa que la malla de entrada tiene la siguiente ecuación:

$$V_{CD} = V_D + R_1 * I_F$$

(Ec. 4.1.)

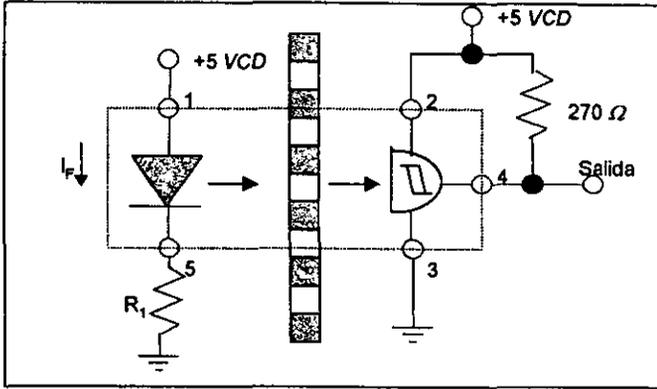


Figura 4.8. Circuito propuesto para el switch óptico.

De los datos técnicos del fabricante se tiene que para una corriente a través del diodo de $I_F=20\text{ mA}$, el voltaje de umbral del diodo tiene un valor típico de $V_D = 1.1\text{ V}$. Despejando R_1 de la ecuación 4.1 y sustituyendo estos valores, el valor de la resistencia es el siguiente.

$$R_1 = \frac{V_{CD} - V_D}{I_F} = \frac{5 - 1.1}{0.020} = 195\ \Omega$$

Se utilizará el valor comercial más cercano que es de $180\ \Omega$. Una vez que ya se ha diseñado la parte que genera un tren de pulsos equivalente a la velocidad del cabezal de rodillos, se procederá a diseñar un circuito electrónico para transformar este tren de pulsos en un número en código binario natural que pueda ser manejado por el módulo de procesamiento y control de datos.

4.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE MONITOREO DE VELOCIDAD

Se propone un circuito que estará constituido por 2 contadores de 4 bits y cuyas salidas sean en código binario en un arreglo en cascada, de forma que puedan contar hasta 255; los contadores serán reinicializados y habilitados para contar por medio de un pulso generado por un C.I. LM555 en configuración monoestable y el pulso generado tendrá una duración de 1 segundo (ventana de muestreo), pasado este tiempo, la salida del LM555 permanecerá en un nivel lógico bajo hasta que una señal proveniente del módulo de procesamiento y control de datos vuelva a dispararlo. El circuito utilizado para obtener la configuración de temporizador monoestable con el LM555 se muestra en la figura 4.9.

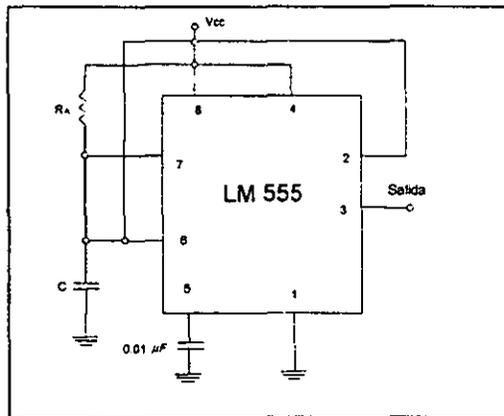


Figura 4.9. Configuración de oscilador monoestable.

Donde el tiempo de duración del pulso está dado por la siguiente ecuación.

$$t = 1.1 * R_A * C \quad (\text{Ec. 4.2.})$$

Para calcular los valores de la resistencia R_A y el capacitor C necesarios para obtener un tiempo de 1 segundo, se propone uno de los dos componentes, por ejemplo si $C = 68 \mu F$, despejando R_A de la ecuación anterior se tiene que el valor de la resistencia será:

$$R_A = \frac{t}{1.1 * C} = \frac{1}{1.1 * 68 \mu F} = 13.36 k\Omega$$

De este valor obtenido se encontró que existen resistencias de precisión de $13.3 k\Omega \pm 1\%$ a $\frac{1}{4} W$, y el capacitor será de $68 \mu F \pm 10\%$ a 25 V.

El tren de pulsos generados a partir del disco servirá como entrada de reloj para el primer contador y la salida de acarreo de éste servirá como entrada de reloj para el segundo contador. El número binario que nos representa la velocidad del cabezal se obtiene directamente de las salidas de los contadores y de ahí podrán ser leídas por el módulo de control y procesamiento de datos. Se ha decidido utilizar como contadores al C.I. 74LS161A ya que permite la implementación de lo anteriormente descrito. En la figura 4.10 se muestra la conexión de los contadores.

4.3 DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR

La velocidad de un motor de corriente directa puede controlarse simplemente poniendo un resistor variable en serie con el motor. El incremento de la resistencia hace que disminuya la corriente en el motor lográndose con esto que su velocidad baje. Esta forma de control de velocidad presenta la desventaja de que hay grandes pérdidas de potencia en el elemento de control (resistor) por lo que no es muy adecuado; otro método es utilizando un regulador conmutado (*switched*) o un circuito *chopper* (también llamado convertidor dc-dc) como elemento de control lo cual reduce considerablemente las pérdidas.

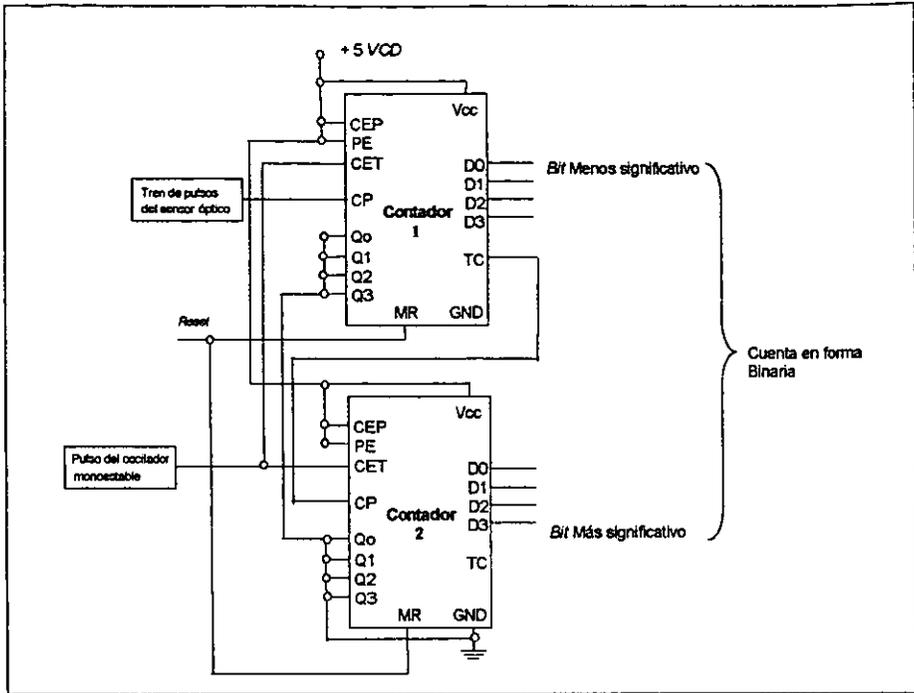


Figura 4.10. Arreglo en cascada de los contadores.

Para valores de corriente y voltaje pequeños es posible utilizar un C.I. que contenga un regulador *switchado*, los cuales existen comercialmente para diferentes valores de corriente y voltaje. Estos reguladores están basados en un circuito *chopper step-down* del cual se describirá a continuación su principio de operación. El principio de operación de un *chopper step-down* puede ser explicado por medio de la figura 4.11. Cuando el *switch* es cerrado durante un tiempo t_1 , el voltaje de entrada V_s aparece a través de la carga. Si el *switch* permanece abierto durante un tiempo t_2 , el voltaje en la carga es cero.

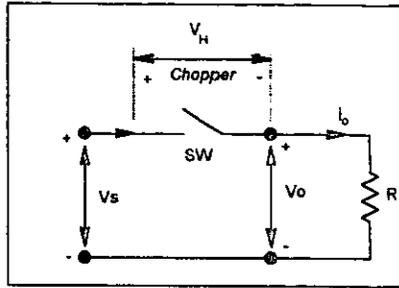


Figura 4.11. *Chopper step-down* con carga resistiva.

Las formas de onda del voltaje de salida y la corriente en la carga son mostradas en la figura 4.12. El *switch chopper* puede ser implementado utilizando un *TBJ* de potencia, un *MOSFET* de potencia o un *thyristor*.

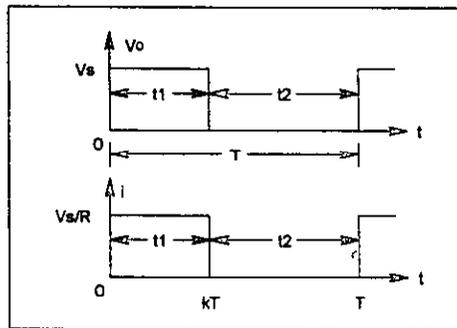


Figura 4.12. Formas de onda de un *chopper* con carga resistiva.

El voltaje promedio de salida está dado por:

$$V_{PROM} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} v_0 dt = \frac{t_1}{T} * V_s = f * t_1 * V_s = k * V_s \quad (\text{Ec. 4.3.})$$

y la corriente promedio en la carga

$$I_{PROM} = \frac{V_{PROM}}{R} = \frac{k * V_s}{R} \quad (\text{Ec. 4.4.})$$

donde: V_s = Voltaje de entrada.

T es el periodo *chopping* (troceado).

$k = \frac{t_1}{T}$ es el ciclo de trabajo, y

f es la frecuencia *chopping*.

El valor *r.m.s.* del voltaje de salida se establece mediante la siguiente ecuación:

$$V_o = \left(\frac{1}{T} \int_0^{kT} v_o^2 dt \right)^{1/2} = \sqrt{k} * V_s \quad (\text{Ec. 4.5.})$$

Asumiendo que se cuenta con un *chopper* sin pérdidas, la potencia de entrada es la misma que la de salida y está dada por:

$$P_i = \frac{1}{T} \int_0^{kT} v_o * i dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{v_o^2}{R} dt = k \frac{V_s^2}{R} \quad (\text{Ec. 4.6.})$$

La resistencia de entrada efectiva vista desde la fuente es:

$$R_i = \frac{V_s}{I_{PROM}} = \frac{V_s}{\frac{kV_s}{R}} = \frac{R}{k} \quad (\text{Ec. 4.7.})$$

El ciclo de trabajo k puede ser variado de 0 a 1 haciendo variar t₁, T ó f. Además el voltaje de salida V_o puede ser variado de 0 a V_s manipulando k, el flujo de potencia puede ser controlado en el modo de operación a "frecuencia constante" el cual se describe brevemente a continuación.

Operación a frecuencia constante. La frecuencia *chopping* f es mantenida constante y el tiempo de encendido t₁ es variado. El ancho del pulso es variado y este tipo de control es conocido como *control por modulación de ancho de pulso (PWM)*.

Para el control de velocidad del motor se encontró que existen en el mercado reguladores de voltaje *Step-Down*, por ejemplo en LM2576T-ADJ con el cual se pueden obtener voltajes de salida comprendidos en un rango de 1.23 a 37 VCD, y soportan una carga de 3 A.

De las características del motor tenemos lo siguiente:

Revoluciones máximas del motor para tener en el rotor del cabezal de rodillos 250 *r.p.m.*, es decir: $(250 \text{ r.p.m.} \cdot \text{relación de reducción}) = (250 \cdot 8 = 2,000 \text{ r.p.m.})$

Corriente para una velocidad en el cabezal de 300 *r.p.m.* = 2.5 A.

Voltaje para máximas revoluciones requeridas = 13.5 VCD.

El circuito propuesto para controlar la velocidad del motor se muestra en la figura 4.13, y posteriormente se efectuará el cálculo de los componente externos, siguiendo un procedimiento diseño indicado en las hojas de especificaciones del fabricante, anexadas en el apéndice B.

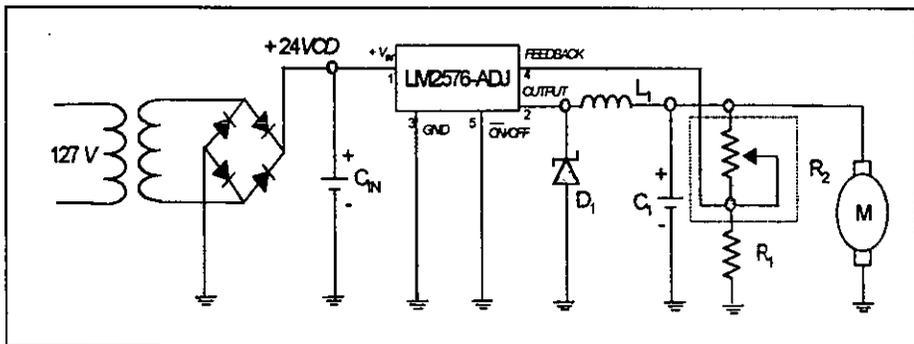


Figura 4.13. Circuito eléctrico para el control de velocidad.

Para el cálculo de los componentes del regulador de voltaje variable se tomarán los siguientes valores:

$$V_{IN(Máx)} = 24 \text{ VCD}$$

$$I_{LOAD(Máx)} = 2.5 \text{ A}$$

$$F = 52 \text{ kHz (Frecuencia del oscilador interno)}$$

Para el cálculo del inductor se aplica la siguiente fórmula y se sustituyen valores:

$$E * T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} * \frac{1000}{F(\text{kHz})} (V \cdot \mu s) \quad (\text{Ec. 4.8.})$$

donde: E*T: V * μs

V_{OUT}: Voltaje en la salida del regulador

$$E * T = (24 - 13.5) \left(\frac{13.5}{24} \right) * \left(\frac{1,000}{52} \right) = 113.58 (V \cdot \mu s)$$

Con este valor calculado del producto E*T en la hoja de especificaciones del LM2576-ADJ correspondiente a la figura 7, se busca el código correspondiente a la intersección entre E*T y la corriente máxima ($I_{LOAD (Máx)} = 2.5 \text{ A}$) que para este caso es H150, con este código se observa en la tabla de la figura 9 de las mismas hojas de especificaciones que el valor del inductor será de $150 \mu H$.

El cálculo del capacitor C_1 se obtiene de la siguiente fórmula:

$$C_1 \geq 13,300 \frac{V_{IN}(Max)}{V_{OUT} * L(\mu H)} (\mu F) \quad (\text{Ec. 4.9.})$$

para $L = 150 \mu H$:

$$C_1 \geq 13,300 \frac{24}{13.52 * 150} = 157.39 \mu F$$

El capacitor C_1 debe de soportar un voltaje mínimo de:

$$V_{C1P} = 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 13.52 = 20.28 V$$

Por lo tanto el capacitor propuesto será de $180 \mu F$ a $25 VCD$.

El diodo debe manejar una corriente mínima de:

$$I_{MIN} = 1.2 * I_{MAX_{LOAD}} = 1.2 * 2.5 = 3 A$$

Y un voltaje de inversa igual o superior a:

$$V_{INVERSA} = 1.25 * V_{MAX_{IN}} = 1.25 * 24 = 30 V$$

Con estos valores obtenidos y usando la guía de selección del diodo de la figura 8 de las hojas de especificaciones, eligiéremos el diodo 1N5825.

De acuerdo al circuito de la figura 4.13, se tiene que el voltaje de salida se puede definir por el valor de las resistencias R_1 y R_2 mediante la siguiente relación:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (EC. 4.10.)$$

De las hojas de especificaciones del fabricante del regulador *step down* se tiene que el voltaje de referencia (V_{REF}) es $1.23 VCD$ y que el valor de R_1 debe estar entre $1 k\Omega$ y $5 k\Omega$. Se utilizará un potenciómetro para R_2 . Despejando la relación R_2/R_1 de la ecuación 4.10 tomando en cuenta los siguientes voltajes:

$$V_{OUT} = 13.5 V$$

$$V_{REF} = 1.23 \text{ V}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \left[\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} \right] - 1 = \left[\frac{13.5}{1.23} \right] - 1 = 9.975$$

De donde si $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, para cumplir con las especificaciones del fabricante del regulador; entonces el valor de R_2 tendrá que ser de $9.975 \text{ k}\Omega$, por lo que será un potenciómetro de $10 \text{ k}\Omega$, y R_1 de $1 \text{ k}\Omega$ de película de metal con una tolerancia de $\pm 1\%$. Calculando el valor del voltaje de salida máximo que se tendría para estos valores de resistencias se tiene:

$$V_{OUT} = V_{REF} * \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] = 1.23 * \left[1 + \frac{10,000}{1,000} \right] = 13.53 \text{ VCD}$$

El cual cumple con lo que se desea obtener.

4.4 DISEÑO DEL MÓDULO DE *INTERFACE* CON EL USUARIO

Este módulo como ya se dijo anteriormente, por simplicidad se dividió en dos submódulos: el módulo de entradas y el módulo de salidas o despliegue.

Características: El submódulo de entradas debe ser capaz de enviar los siguientes requerimientos del usuario al módulo de control y procesamiento de datos:

1. Señal de arranque
2. Señal de paro
3. Selección de diámetro
4. Selección de RPM/LPM

5. Cambio de giro
6. Sentido horario
7. Sentido antihorario

Y la señal de velocidad deseada al módulo de control de velocidad por medio del potenciómetro R_2

El submódulo de salidas o despliegue debe ser capaz de proporcionar la siguiente información al usuario:

- ◇ Desplegar la velocidad o flujo actual.
- ◇ Estado de encendido/apagado de los siguientes componentes:
 1. *Led* indicador de sentido de giro antihorario
 2. *Led* indicador de sentido de giro horario
 3. *Led* indicador de arranque
 4. *Led* indicador de paro
 5. *Led* indicador de *r.p.m.*
 6. *Led* indicador de *l.p.m.*
 7. *Led* indicador de diámetro de manguera de 5/8"
 8. *Led* indicador de diámetro de manguera de 1/2"
 9. *Led* indicador de diámetro de manguera de 3/8"
 10. *Led* indicador de diámetro de manguera de 1/4"

De todo lo anterior se observa que se tienen 7 señales de entrada, 10 señales de salida y señales para poder desplegar información en 3 indicadores de 7 segmentos.

Por estar estrechamente vinculado el diseño de este módulo con el de control y procesamiento de datos, en especial con la forma de introducir y obtener datos de éste último, así como con la asignación de terminales del

microcontrolador que se seleccione, el diseño de ambos módulos se hará en forma "simultánea".

4.5 DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Este módulo estará basado en un microcontrolador (*MCU*); en él la señal de la velocidad proveniente del módulo de monitoreo de velocidad en forma de 8 líneas paralelas y en código binario será enviada hacia el *MCU* para ser procesada, y de ahí enviar las señales correspondientes ya sea al flujo en *l.p.m.* o la velocidad en *r.p.m.* hacia el submódulo de despliegue de la *interface* con el usuario, además leerá las señales del submódulo de entradas, para efectuar las acciones de control necesarias para realizar lo que se le esté indicando.

a) Selección y características del microcontrolador

La elección del microcontrolador a utilizarse en el presente trabajo se fundamentó en los requerimientos del diseño del prototipo, los cuales son:

- ◇ Puertos de entrada paralelos.
- ◇ Capacidad para manejar interrupciones externas.
- ◇ Bajo costo.
- ◇ Con amplia disponibilidad en el ámbito comercial en México.
- ◇ Bajo consumo de potencia.
- ◇ Suficiente memoria *EPROM* y *RAM*.
- ◇ Velocidad de procesamiento aceptable.

Se utilizará el PIC16C71 de *Microchip*, cuyas características principales ya se enunciaron en la sección referente al diseño del intercambiador de temperatura con la finalidad de homogeneizar los equipos en cuanto al *MCU* que utilicen.

Después de haber seleccionado el *MCU* se procederá a diseñar el módulo de procesamiento y control de datos.

Señal reloj y circuito de reset del MCU PIC16C71

La forma de obtener la señal de reloj y el circuito de *reset* serán similares a los utilizados en el intercambiador de temperatura.

b) Asignación de funciones a las terminales del *MCU*

Las señales que deberá manejar el módulo de control y procesamiento de datos serán las que a continuación se enuncian, divididas en entradas y salidas:

Entradas:

1. Señal de *velocidad lista* para ser leída proveniente del circuito de monitoreo de velocidad.
2. Señal de *paro* proveniente del *AEPS*.
3. Señal de *paro* proveniente del *microswitch* de la tapa del cabezal.
4. Señal proveniente del botón de *paro*.
5. Señal proveniente del botón de *arranque*.
6. Señal proveniente del botón de *selección de diámetro*.
7. Selección de que datos se desean que se desplieguen *r.p.m* y *l.p.m*.
8. Señal de selección de *cambio de giro*.
9. Selección de *sentido de giro horario*.
10. Selección de *sentido de giro antihorario*.
11. Datos que representan la velocidad del cabezal (8 líneas paralelas).

Salidas:

1. Despliegue de datos en *r.p.m.* ó *l.p.m.*
2. Disparo del monoestable.
3. Activación/desactivación del motor.
4. *Led* indicativo de *arranque*.
5. *Led* indicativo de *paro*.
6. *Led* indicativo de *giro en sentido horario*.
7. *Led* indicativo de *giro en sentido antihorario*.
8. *Led* indicativo de que los datos desplegados son *l.p.m.*
9. *Led* indicativo de que los datos desplegados son *r.p.m.*
10. Señal de *cambio de giro*.
11. *Led* indicativo de que el diámetro de manguera seleccionado es de $1/4''$.
12. *Led* indicativo de que el diámetro de manguera seleccionado es de $3/8''$.
13. *Led* indicativo de que el diámetro de manguera seleccionado es de $1/2''$.
14. *Led* indicativo de que el diámetro de manguera seleccionado es de $5/8''$.

De acuerdo al número de entradas y salidas enumeradas y de acuerdo a las entradas y salidas disponibles en el *MCU*, se puede deducir que las primeras exceden por mucho a las segundas, de ahí que se deba recurrir a algunos arreglos para poder ser manejadas por éste. Debido al gran número de líneas a manejar se optó por implementar un puerto de lectura y escritura serial mediante convertidores serie/paralelo y paralelo/serie, rutinas de lectura y escritura serial que se incluirán en el *software* del *MCU* y lógica adicional. A continuación se procede a asignar una terminal del *MCU* para cada una de las señales con mayor prioridad, quedando de la siguiente forma:

Terminal:	Señal correspondiente:
RA0	<i>Paro</i> .
RA1	<i>Disparo del LM555</i> .

RB0	<i>Interrupción.</i>
RB1	<i>Velocidad lista.</i>
RB3	<i>Señal de Entrada/Salida serial (Datos).</i>
RB4	<i>Señal de reloj serial (SCLK).</i>

Señal de paro: Debido a que las tres señales de entrada de paro producen el mismo efecto, es decir, provocan el paro de la unidad, se decidió introducirlas a un arreglo de compuertas *OR* de forma que cuando cualquiera de estas entradas se active, a la salida del arreglo se tenga un 1 lógico; la salida de este arreglo será la señal de paro que atiende el *MCU*.

Disparo del LM555: Una vez que el *MCU* haya leído los datos que representa a la velocidad en el cabezal de rodillos proveniente del módulo de monitoreo de velocidad y los almacene en un registro, el *MCU* enviará una señal de disparo al LM555 para que éste a su vez habilite a los contadores y registren la velocidad actual del cabezal.

Señal de interrupción: La señal de interrupción es generada por la salida de un arreglo de compuertas *OR* al cual se introducen todas las señales de entrada de control, el cual es mostrado en la figura 4.14, donde también se muestra el arreglo lógico de la señal de paro.

Señal de velocidad lista: Es generada por el módulo de monitoreo de velocidad cuando ya ha transcurrido el periodo de muestreo, indicándole al *MCU* que ya tiene listos los datos de la velocidad actual del cabezal para ser leídos.

Señal de Entrada/Salida serial (Datos): Por esta línea se recibirán o transmitirán datos en forma serial.

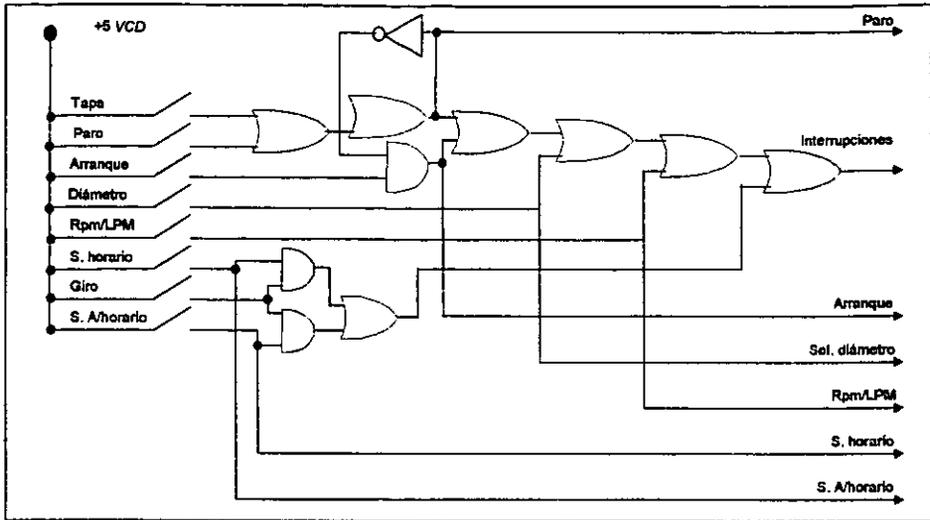


Figura 4.14. Circuito lógico para las entradas de control.

Señal de reloj serial (SCLK): Esta señal es generada por el *MCU* durante las rutinas de recepción o transmisión serial, con ella se sincroniza la entrada o salida de datos de los convertidores serie/paralelo o paralelo/serie.

A excepción de las anteriores señales de entrada, todas las demás se leerán en forma serial, para lo cual se utilizarán 2 circuitos *latch* para almacenar sus valores, utilizando uno para las señales de entrada de control y otro para los datos provenientes del módulo de monitoreo de velocidad; las salidas de estos circuitos *latch* se conectarán a las terminales de entrada del convertidor paralelo/serie y la salida de dicho convertidor se conecta a un *buffer* de tres estados, controlado por (RB5), como protección para cuando el *MCU* transmita datos, manteniendo el *buffer* en alta impedancia.

La selección de cuál de los dos *latch* se transmitirá serialmente al *MCU*, se realizará utilizando la terminal RB6 del *MCU*, utilizando una lógica

complementaria colocando un inversor, para mantener uno de los dos en alta impedancia.

El circuito que se utilizará para manejar las señales de entrada de control se muestra en la figura 4.15 y en él se puede apreciar que las señales de entrada se conectan directamente a las terminales de entrada del *latch*.

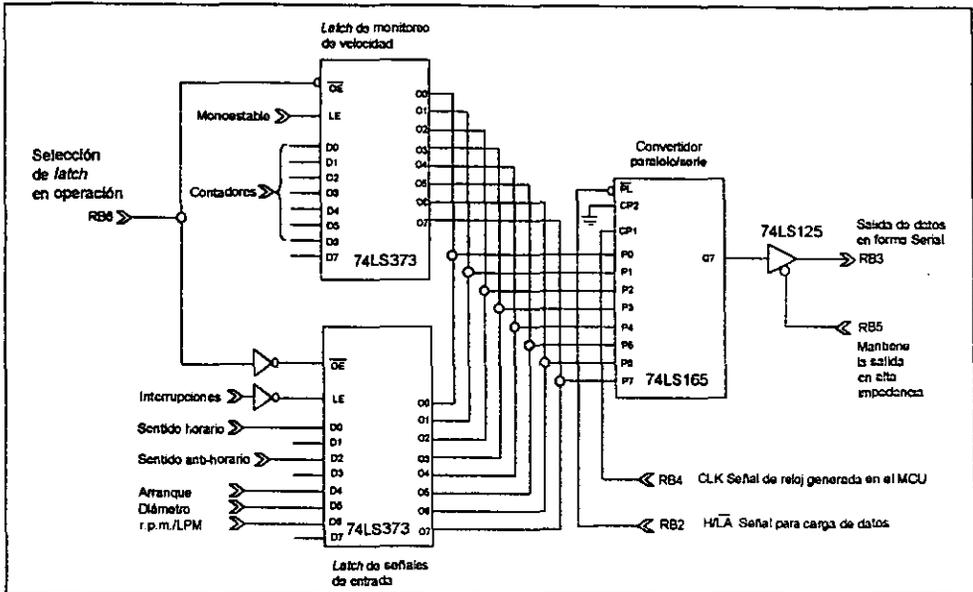


Figura 4.15. Circuito eléctrico de control de datos de entrada.

La captura de datos en el *latch* para el módulo de monitoreo de la velocidad se realiza mediante la señal de salida proveniente del LM555 la cual se conecta directamente a la terminal *latch enable (LE)*, de esta forma mientras la salida del 555 está en un nivel alto, los contadores están contando y el *latch* no acepta los datos provenientes de ellos; cuando la señal de salida del 555 se va a nivel bajo los contadores dejan de contar y entonces el *latch* acepta los datos de la última cuenta realizada por ellos, ya que la terminal de *LE* es activa baja.

La captura de datos en el *latch* de señales de entrada se realiza haciendo pasar la señal de interrupciones por un inversor y de ahí a la terminal de *LE*, con lo anterior se logra que cuando cualquiera de los *push buttons* de las señales de entrada sea presionado, se vaya a un nivel lógico alto en la terminal de entrada que le corresponda en el *latch* y cuando se deje de presionar el *push button* la señal permanecerá retenida en el *latch*.

Para las señales de salida, se utilizará un convertidor serie/paralelo, para disminuir el número de líneas necesarias para el manejo de los datos de salida. Las terminales utilizadas serán: RB3, que como ya se mencionó anteriormente será de entrada y salida de datos y RB4 para el reloj, además se incluirá la terminal RB5 para el *reset* del convertidor serie/paralelo, el funcionamiento de este circuito se describió en el diseño del intercambiador de calor.

A la salida del convertidor serie/paralelo, los datos se almacenarán en las memorias *latch*; debido a la gran cantidad de salidas, éstas se distribuirán en varios circuitos *latch*, de la siguiente manera, donde además se indica entre paréntesis la terminal que le corresponderá:

Latch 1

- ◇ Señal de arranque (O0)
- ◇ Señal de paro (O1)
- ◇ *Led* de RPM (O2)
- ◇ *Led* de LPM (O3)
- ◇ Punto izquierdo (O4)
- ◇ Punto derecho (O5)
- ◇ Señal de giro (O7)

Latch 2

- ◇ Led diámetro de 1/4" (O0)
- ◇ Led diámetro de 3/8" (O1)
- ◇ Led diámetro de 1/2" (O2)
- ◇ Led diámetro de 5/8" (O3)

Latch 3: Display 1

Latch 4: Display 2

Latch 5: Display 3

Estos circuitos *latch* estarán conectados en un mismo *bus*, por lo que los datos del convertidor serie/paralelo estarán presentes en las entradas de los 5 circuitos *latch*, pero sólo uno a la vez debe capturar los datos. Esto lo logramos con un *demultiplexor* (SN74LS138), y la forma de direccionar los circuitos *latch* utilizando las terminales RA2, RA3 y RA4 del *MCU* se muestra a continuación en la tabla de la figura 4.16.

RA2	RA3	RA4	<i>Latch</i> seleccionado
0	0	0	<i>Latch 1</i> ($Y_0=0$)
1	0	0	<i>Latch 2</i> ($Y_1=0$)
0	1	0	<i>Latch 3</i> ($Y_2=0$)
1	1	0	<i>Latch 4</i> ($Y_3=0$)
0	0	1	<i>Latch 5</i> ($Y_4=0$)
1	0	1	Ninguno ($Y_5=0$)
0	1	1	Ninguno ($Y_6=0$)
1	1	1	Ninguno ($Y_7=0$)

Figura 4.16. Tabla para asignación *latch* por medio del *demultiplexor*.

Latch 1: Este latch, además de controlar el encendido o apagado de los Leds, efectuará el encendido o apagado del motor y la inversión del sentido de giro, para realizar esto se conectará a un optoacoplador para a su vez disparar un relevador que permita la polarización del motor de CD. El optoacoplador será el MOC1005, que soporta una corriente de colector de 150 mA y V_{CE0} de 30 VCD; el circuito eléctrico de conexión del optoacoplador se muestra en la figura 4.17.

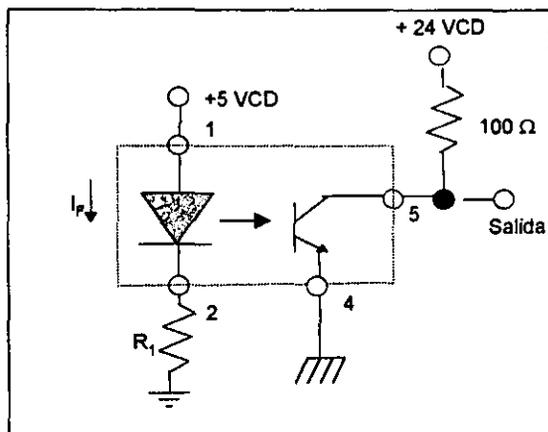


Figura 4.17. Diagrama eléctrico del optoacoplador.

El valor de R_1 se calculará para que circule una corriente de 10 mA y de las hojas de especificaciones se tiene que el voltaje en el diodo es de 1.15 VCD, sustituyendo en la siguiente ecuación.

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_D}{I_F} = \frac{5 - 1.15}{0.010} = 385 \Omega$$

El valor comercial más cercano es de $390 \Omega \pm 5\%$ a $\frac{1}{4} W$. La salida del transistor estará conmutando de corte a saturación, con lo que activará y desactivará la bobina del relevador para abrir y cerrar el contacto. Del circuito de control de velocidad descrito anteriormente se aprecia que la terminal 5 del

regulador de voltaje *step-down*, es de encendido y apagado (*ON/OFF*), para el encendido es necesario aplicar un nivel de voltaje bajo (0-1.2 V) y para el apagado del regulador un voltaje alto (de 1.4 a V_{IN}). El circuito eléctrico se muestra en la 4.18 en donde cabe mencionar que el optoacoplador estará manejado por una compuerta *OR*, cuyas señales de entrada provienen del *AEPS* y de la terminal O_0 del *latch 1*, la señal del *MCU* para el arranque es un 0 lógico, con lo que la salida del optoacoplador está en corte, energizando la bobina B1 que a su vez abre el contacto para poder tener el nivel de voltaje bajo necesario para encender el regulador. El diodo en paralelo a la bobina del relevador permitirá eliminar el campo electromagnético característico de los componentes inductivos cuando la energía es removida.

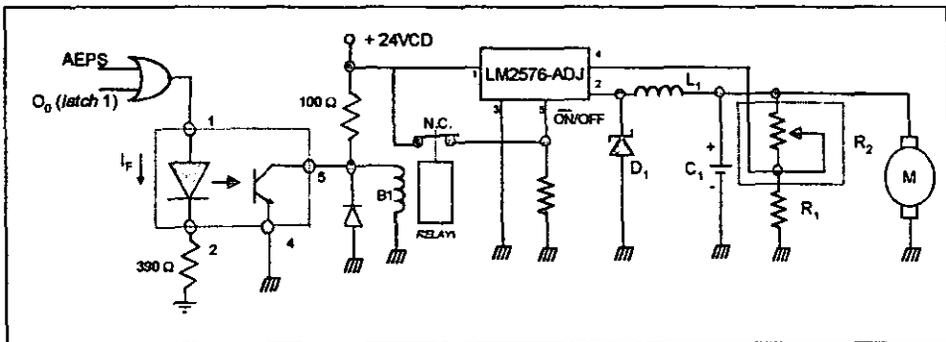


Figura 4.18. Circuito de encendido del motor de *CD*.

Para la señal de giro también se tendrá un optoacoplador que controlará un relevador de 2 polos, 2 tiros para efectuar el cambio de giro en el motor, utilizando un arreglo similar al del arranque. El circuito es el mostrado en la figura 4.19.

El sentido de giro horario se tendrá cuando en la terminal 1 del motor se tenga un voltaje positivo y en la terminal 2 tierra y los niveles de voltaje se invierten para el sentido antihorario. Para lograr el giro horario es necesario que la bobina B2 se energice, por lo que O_7 deberá tener un nivel de voltaje bajo.

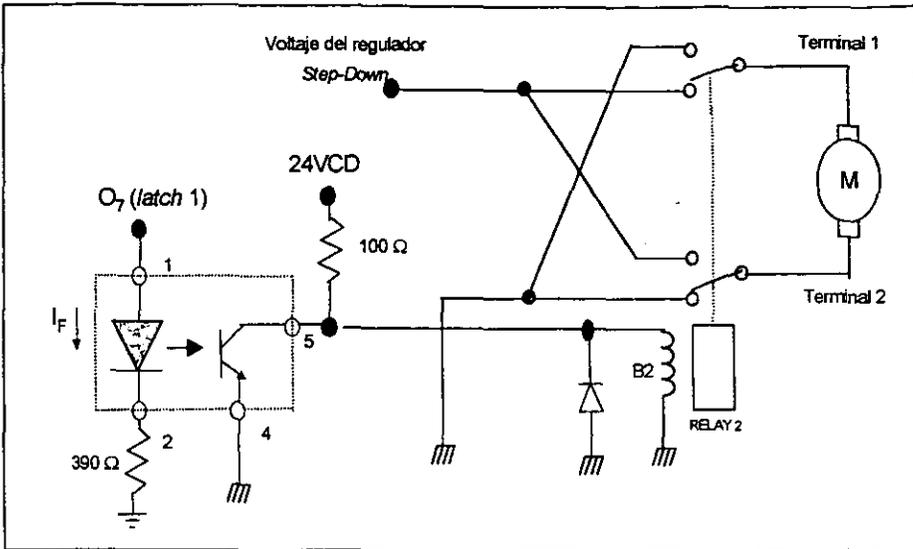


Figura 4.19. Circuito eléctrico para la inversión del sentido de giro.

Un relevador adecuado es de la marca AROMAT código 2FENBDC24V, que es de 2 polos, 2 tiros y tiene una capacidad de conmutación de 5 A, 30 VCD, la bobina se energiza con 24 VCD y consume una corriente de 22 mA. Para que el diseño sólo maneje un tipo de relevador, con el objeto de facilitar el mantenimiento, éste también se utilizará en el encendido del motor.

El encendido de los *leds* se hará utilizando un circuito similar al diseñado en el intercambiador de temperatura, utilizando un transistor para proporcionar la corriente al *led*. El circuito que muestra las salidas controladas por el *latch 1* se muestra en la figura 4.20, en donde también se aprecian las terminales que controlarán el encendido de los puntos del *display 1*.

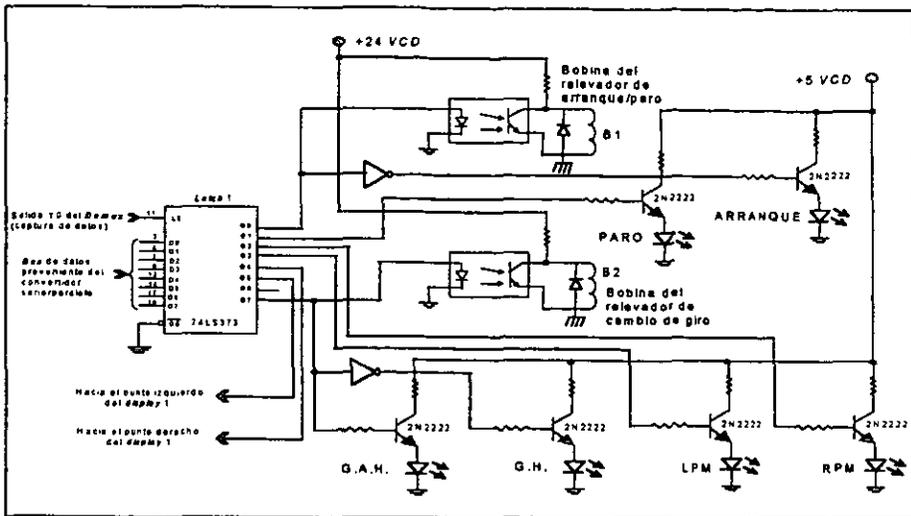


Figura 4.20. Circuito de salidas de latch 1.

Latch 2: Este latch controlará los leds indicadores del diámetro de manguera, encendiendo el led seleccionado. El circuito correspondiente es el mostrado en la figura 4.21.

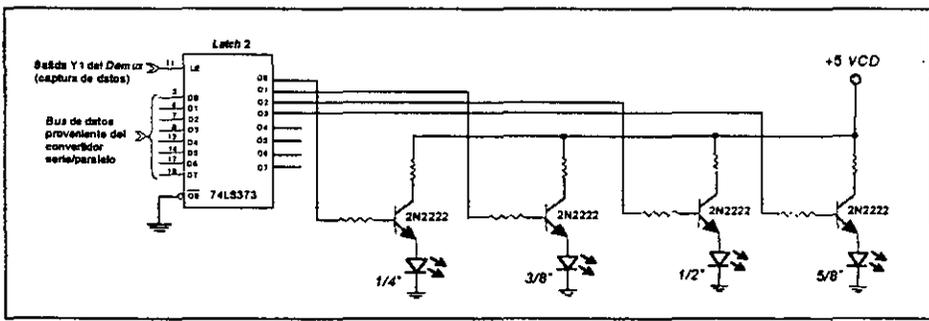


Figura 4.21. Circuito de salidas del latch 2.

Latch 3: Este latch estará conectado a un convertidor BCD a 7 segmentos ánodo común, para encender un *display* de 7 segmentos y si se tiene seleccionado RPM desplegará centenas, pero si se eligió LPM desplegará

unidades o décimas de litro dependiendo si el valor es menor o mayor a uno, el circuito se muestra en la figura 4.22. El manejo del punto izquierdo o derecho se realizará por el *latch* 1.

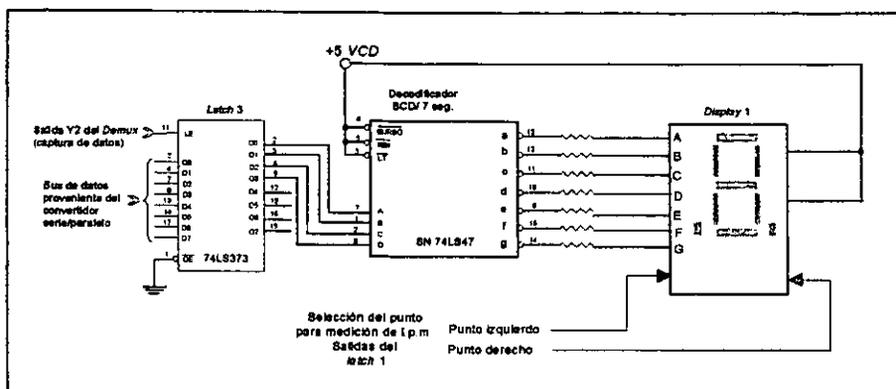


Figura 4.22. Circuito de salidas del *latch* 3.

Latch 4 y *latch* 5: El circuito es idéntico al anterior con excepción de los puntos y desplegarán los siguiente datos mostrados en la figura 4.23.

Datos a Desplegar	<i>Latch</i> 3 (<i>Display</i> 1)	<i>Latch</i> 4 (<i>Display</i> 2)	<i>Latch</i> 5 (<i>Display</i> 3)
<i>r.p.m.</i>	Centenas	Decenas	Unidades
<i>l.p.m.</i> < 1	Décimas	Centésimas	Milésimas
<i>l.p.m.</i> ≥ 1	Unidades	Décimas	Centésimas

Figura 4.23. Salidas de los *latch* 3, 4 y 5.

Una vez diseñado el módulo de procesamiento de datos y control, en la figura 4.24 se muestra la carátula de la bomba de rodillos, integrada por el tablero de control de acuerdo a la descripción previa y los indicadores visuales.

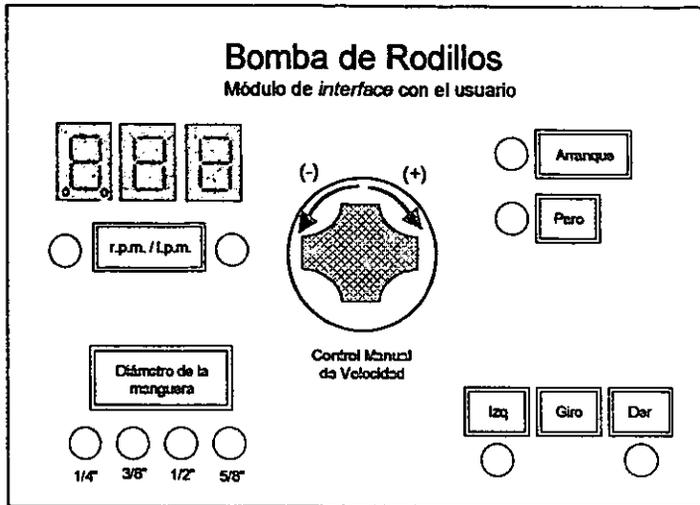


Figura 4.24. Carátula de la bomba de rodillos.

4.6 CARÁTULA DE LA BOMBA DE RODILLOS

Esta carátula contará con 3 indicadores de 7 segmentos para desplegar la velocidad o gasto suministrada por la bomba de rodillos, también contará con indicadores luminosos (*leds*) para indicar el sentido de giro de la bomba, el diámetro de la manguera seleccionada y el estado de la bomba en reposo (paro) o en funcionamiento (arranque). En forma adicional contará con los botones de control para las mismas funciones indicadas y también contará con una perilla que ajustará la velocidad de la bomba de rodillos. Los controles e indicadores que se encuentran en la parte frontal de la carátula de control de la bomba de rodillos y sus funciones son las siguientes:

Los interruptores de entrada: Son los que permiten al usuario seleccionar las características de operación de la bomba de rodillos.

Perilla de control de velocidad: esta perilla tiene como función el control de la velocidad del motor desde 0 a 250 *r.p.m.*. Al girarla estamos enviando una señal de control al circuito controlador de voltaje de alimentación del motor, al girarla en sentido horario incrementará la velocidad y en el sentido inverso decrementará la velocidad.

Displays de 7 segmentos: están integrados por 3 indicadores de 7 segmentos, los cuales indicarán la velocidad del motor en *r.p.m.* o la cantidad de *l.p.m.* del flujo sanguíneo, la señal la recibe directamente de los circuitos convertidores de salida.

También se diseñaron e integraron una serie de circuitos que controlan los *leds* indicadores de: selección de los diámetros de la manguera, sentido de giro, encendido y paro de la bomba; éstos tienen la función de indicar visualmente la operación que se está llevando a cabo por la bomba de rodillos y se utilizará uno para cada una de las funciones.

Una vez descritas las partes que integran el sistema de la bomba de rodillos procederemos a hacer una descripción de la operación del mismo.

4.7 OPERACIÓN DE LA BOMBA DE RODILLOS

a) Selección de arranque o paro

El equipo permite al perfusionista seleccionar la función que requiera una vez que finalice el tiempo de autoprueba; así, para llevar a cabo el arranque o el paro del motor es necesario verificar por precaución que la perilla de "velocidad" se encuentre en posición de velocidad mínima o cero (girar hasta el tope en sentido antihorario), con objeto de preveer daños al paciente evitando que el suministro de flujo de sangre sea en forma abrupta. Así, para iniciar el arranque

del motor se hará oprimiendo el interruptor de “arranque” lo cual encenderá el *LED* de arranque y posteriormente se podrá comenzar a girar la perilla de “velocidad” en sentido horario hasta llegar a la posición en que se obtenga la velocidad deseada. Para llevar a cabo el paro del motor se requiere mantener oprimido el interruptor de “paro” y una vez que esté iluminado el *LED* de paro, la perilla de “velocidad” se desactivará y cualquier acción a través de ella no tendrá ninguna acción sobre la alimentación del motor. Al final del uso del equipo se recomienda girar la perilla de “velocidad” en sentido antihorario en su totalidad, como precaución, para que en un próximo arranque se eviten daños tanto al paciente y o a la bomba de rodillos.

b) Selección del sentido de giro

Por *default* el sentido de giro será horario, si se desea que el giro sea en sentido antihorario se deberá presionar simultáneamente el interruptor de “giro” y el interruptor “izq”. Con esto le estamos enviando al *MCU* una señal de indicación de giro en sentido izquierdo (antihorario) y al recibir esta instrucción el *MCU* la procesa y a su salida envía la señal correspondiente tanto para hacer que el motor gire en el sentido correspondiente y active el *LED* respectivo “izq”. Si se desea cambiar el sentido de giro del motor será necesario que la perilla selectora de velocidad se encuentre en cero y la bomba se encuentre sin girar, y posteriormente se oprimirán simultáneamente los interruptores de “giro” y “der” originando con esto el giro en sentido horario de la bomba de rodillos y la activación del *LED* “der”.

c) Selección del calibre de la manguera

El perfusionista podrá seleccionar el diámetro de la manguera a utilizar presionando el interruptor denominado “Diámetro de la manguera”. La selección se lleva a cabo en forma secuencial de tal forma que si está seleccionado el

calibre de 1/2" y se desea seleccionar la de 3/8", por ejemplo, se deberá accionar tantas veces el interruptor de manguera hasta que se encienda el LED correspondiente. Los diámetros de la manguera pueden ser: 1/4", 3/8", 1/2" ó 5/8".

d) Selección de *r.p.m.* ó *l.p.m.*

Por características propias del diseño, el sistema al inicio de la operación indicará siempre en el *display* de lectura las *r.p.m.* La velocidad del motor se incrementa al girar la perilla de "velocidad" en sentido horario, y se controlará por el perfusionista manualmente mediante la lectura que se despliega en el *display*. Si se desea monitorear la cantidad de flujo sanguíneo en lugar de la velocidad del motor, entonces, bastará con oprimir el interruptor "*r.p.m./l.p.m.*", cambiando la lectura desplegada en el *display*, obteniendo que se apague el *led* de *r.p.m.* y se ilumine el *led* de *l.p.m.* El mismo procedimiento se hará para regresar al despliegue de *r.p.m.* Es necesario aclarar que la lectura del gasto es una lectura relativa a la velocidad del motor, ya que el sistema no cuenta en realidad con un sensor de flujo.

4.8. DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

a) Fuente de +24VCD

Para la alimentación de los relevadores del circuito de control de velocidad se requieren +24 VCD, los cuales se obtendrán de un transformador con la siguiente relación de transformación 127/24 en donde el voltaje pico V_p está dado por la siguiente relación:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 24 = 33.94 V$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{Rp-p\text{ máx.}} = V_p - V_{in\text{ mín.}} = 33.94 - 24 = 9.94 \text{ V}$$

El voltaje de rizo *rms* será:

$$V_{R\text{ rms}} = \frac{V_{Rp-p\text{ máx.}}}{2\sqrt{3}} = \frac{9.94}{2\sqrt{3}} = 2.87 \text{ V}$$

El voltaje de corriente directa que entregará:

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_{Rp-p}}{2} = 33.94 - \frac{9.94}{2} = 28.97 \text{ V}$$

Para obtener el valor del capacitor se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{R\text{ rms}} = \frac{I_{DC} * V_{DC}}{4\sqrt{3} * f * C * V_p} \quad (\text{Ec. 4.11.})$$

Despejando C de la ecuación anterior y sustituyendo valores, donde f es la frecuencia del voltaje de línea, se obtiene C₁:

$$C_1 = \frac{1 * 28.97}{4\sqrt{3} * 60 * 33.94 * 2.86} = 717.95 \mu\text{F}$$

Del valor obtenido se utilizará un capacitor de 820 $\mu\text{F} \pm 10\%$ a 50 V.

b) Fuente de +5VCD

La fuente de alimentación proporcionará para los circuitos TTL, el MCU, indicadores visuales, el circuito de medición de velocidad y los optoacopladores +5 VCD. Debe cumplir con los requerimientos de corriente de todo el circuito eléctrico de la bomba de rodillos; por lo que a continuación, en la figura 4.25 se muestra una tabla donde se puede observar los consumos máximos de corriente de cada integrado, tomados de las especificaciones del fabricante y la corriente

que circulará en los indicadores luminosos con la finalidad de calcular la carga máxima total del circuito.

Componente	Cantidad	$I_{CC_{MAX}}$ [mA]	$I_{CC_{MAX}} * Cant$ [mA]
SN74LS04	2	6.6	13.2
SN74LS08	1	6.6	6.6
SN74LS32	2	13	26
SN74LS125	1	20	20
SN74LS138	1	10	10
SN74LS161A	2	32	64
SN74LS164	1	27	27
SN74LS165	1	36	36
SN74LS373	7	40	280
PIC16C71	1	0.015	0.015
LM555	1	5	5
MOC75T1	1	30	30
MOC1005	2	10	20
LEDS	10	20	200
DISPLAY	3	140	420
$I_{CC_{MAX}}$ total [mA]			1157.815

Figura 4.25. Tabla de consumos máximos de corrientes.

En esta tabla se observa que la carga máxima es 1.157 A, por lo que se diseñará la fuente de alimentación con una capacidad de 2 A, utilizando un regulador integrado.

Se utilizará el MC78T05, que es un regulador de voltaje de tres terminales capaz de proporcionar una corriente máxima de 3.0 A y requiere un voltaje de entrada (V_{in}) comprendido entre +7.5 VDC y +20 VDC.

El transformador será el mismo que el utilizado en los relevadores del control de velocidad, conectando el puente rectificador al *tap* central con lo que se obtiene una relación de transformación de 127/12. El voltaje de pico sería de:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 12 = 16.97V$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{Rp-p\text{máx.}} = V_p - V_{in\text{mín.}} = 16.97 - 7 = 9.97 V$$

El voltaje de rizo *rms* será:

$$V_{R\text{rms}} = \frac{V_{Rp-p\text{máx.}}}{2\sqrt{3}} = \frac{9.97}{2\sqrt{3}} = 2.88 V$$

El voltaje de corriente directa que entregará:

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_{Rp-p}}{2} = 16.97 - \frac{9.97}{2} = 11.985 V$$

Para el cálculo del capacitor C_4 tenemos que:

$$C = \frac{1.318 * 11.985}{4\sqrt{3} * 60 * 16.97 * 2.88} = 777.51 \mu F$$

Del valor obtenido se utilizará un capacitor de $820 \mu F \pm 10\%$ a 50 V.

Por lo que el circuito eléctrico de la fuente de alimentación quedaría como el mostrado en la figura 4.26.

En donde C_2 y C_5 son capacitores de desacoplo; C_3 y C_6 para mejorar la respuesta transitoria del regulador, con valores recomendados por el fabricante.

Para el cálculo del valor del fusible (F_1) mostrado en la figura anterior se tiene que obtener la corriente en el devanado primario del transformador mediante la siguiente relación:

$$I_{prim} = \frac{24}{127} * 2 = 0.3779 A_{rms}$$

Del valor obtenido y dando una tolerancia, el valor del fusible comercial siguiente más elevado es de 0.5 A de ahí que se haya optado por este valor.

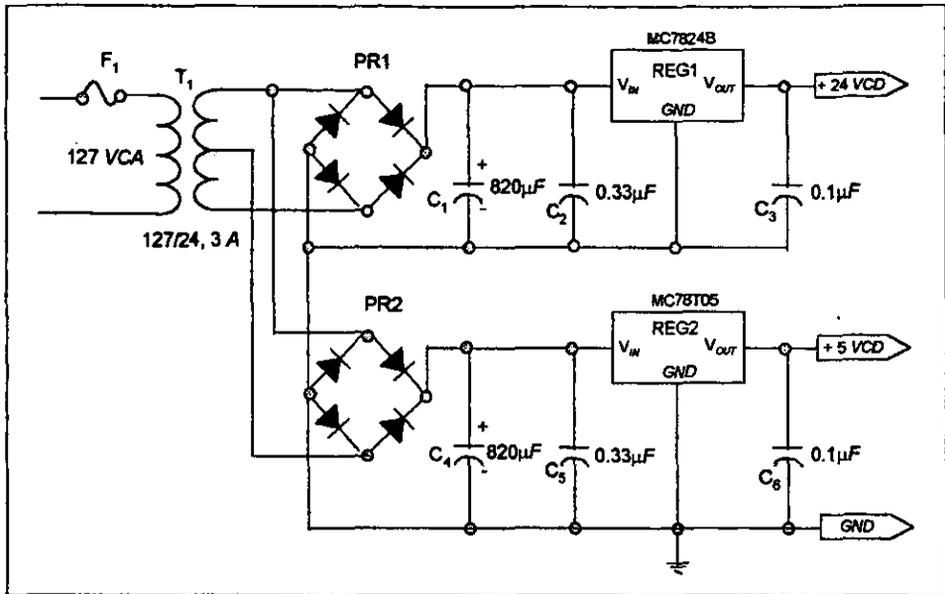


Figura 4.26. Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación de la bomba de rodillos.

Concluida la parte eléctrica del diseño de la bomba de rodillos a continuación, en la figura 4.27 se mostrará el diagrama eléctrico completo de la bomba de rodillos y en la figura 4.28 se muestra una tabla con la lista de partes, para posteriormente pasar al diseño del *software*, ya que sin un programa adecuado este circuito no funcionaría adecuadamente.

4.9 CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE RODILLOS

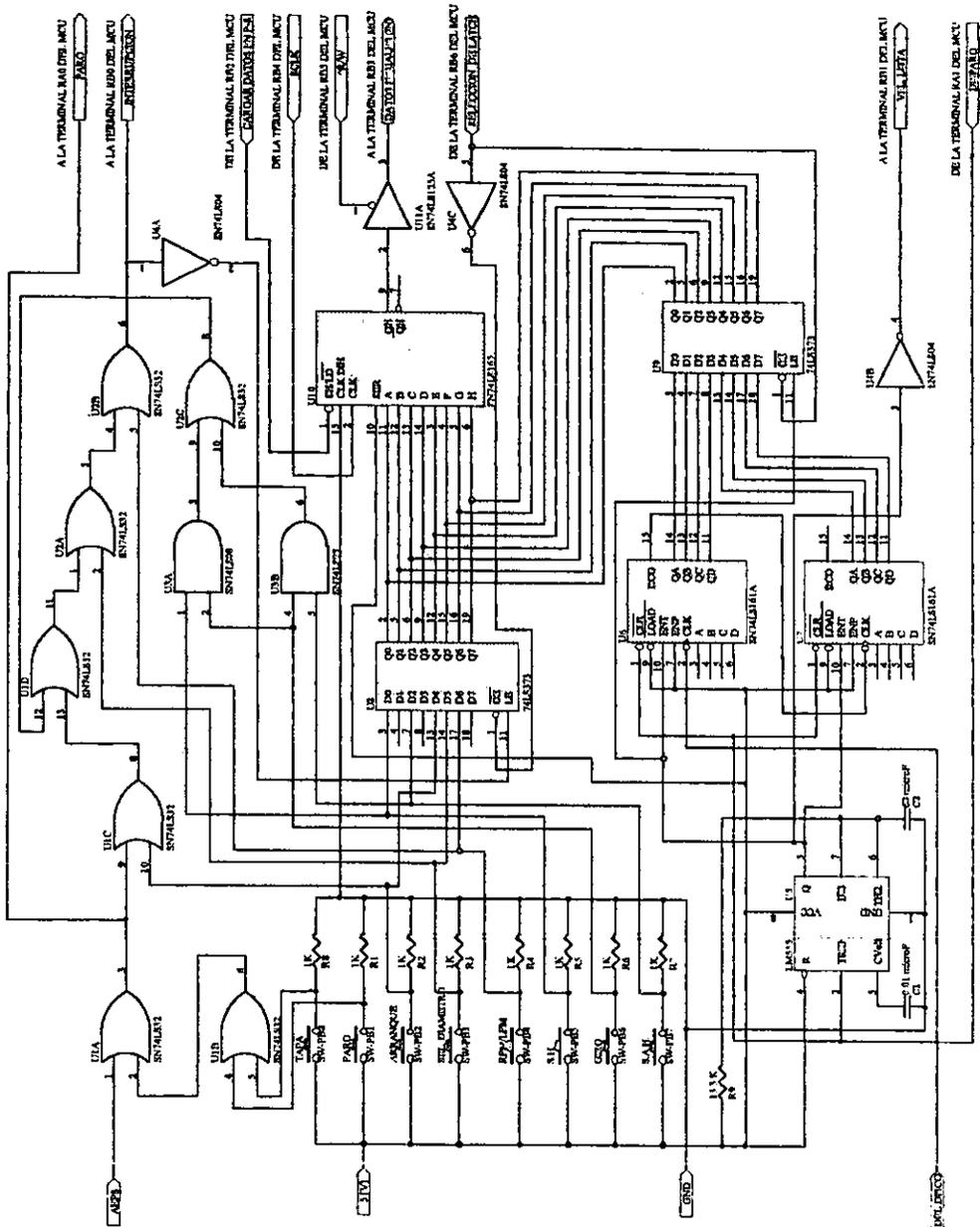


Figura 4.27. Diagrama eléctrico de la bomba de rodillos. (Continúa).

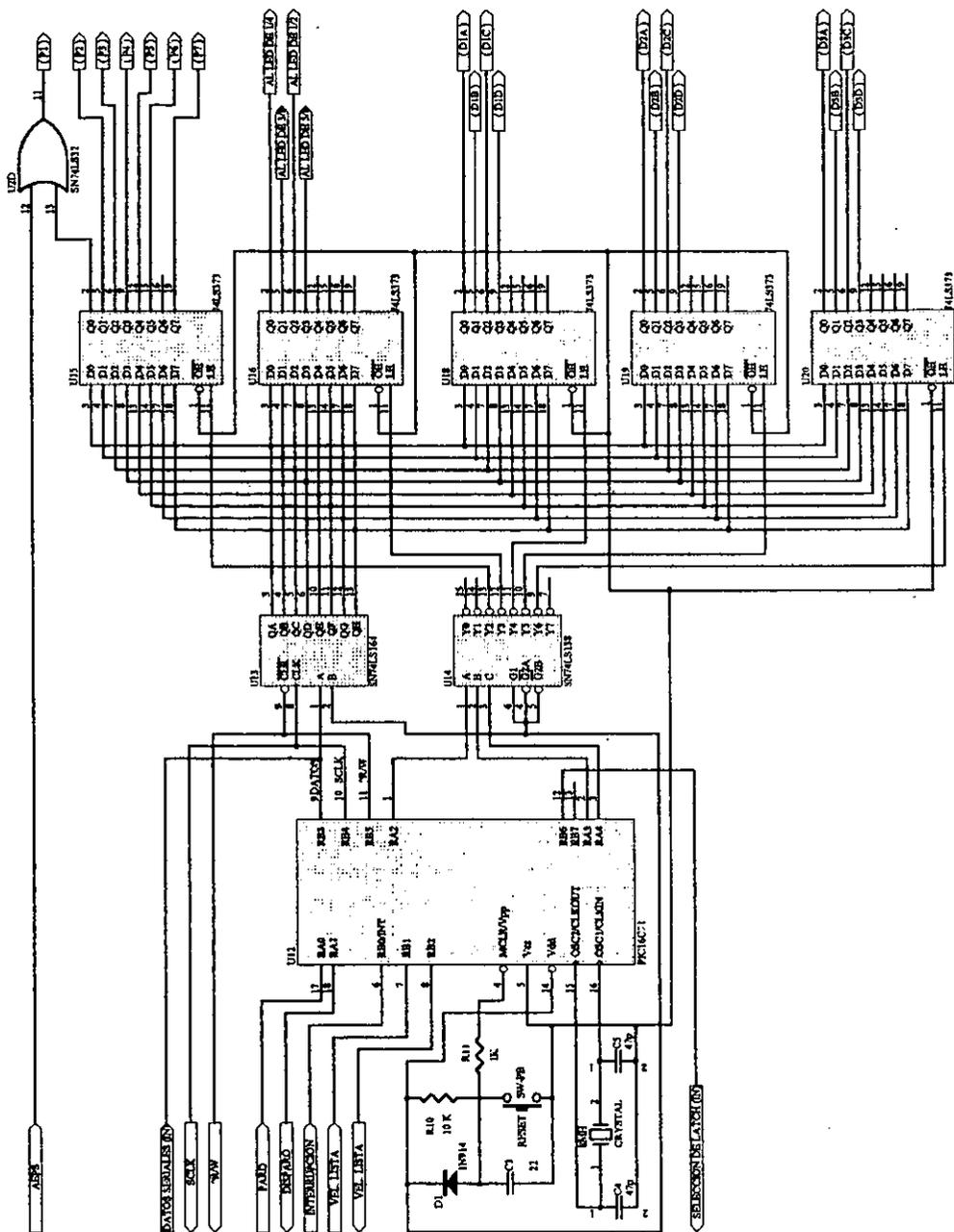


Figura 4.27. Diagrama eléctrico de la bomba de rodillos. (Continúa).

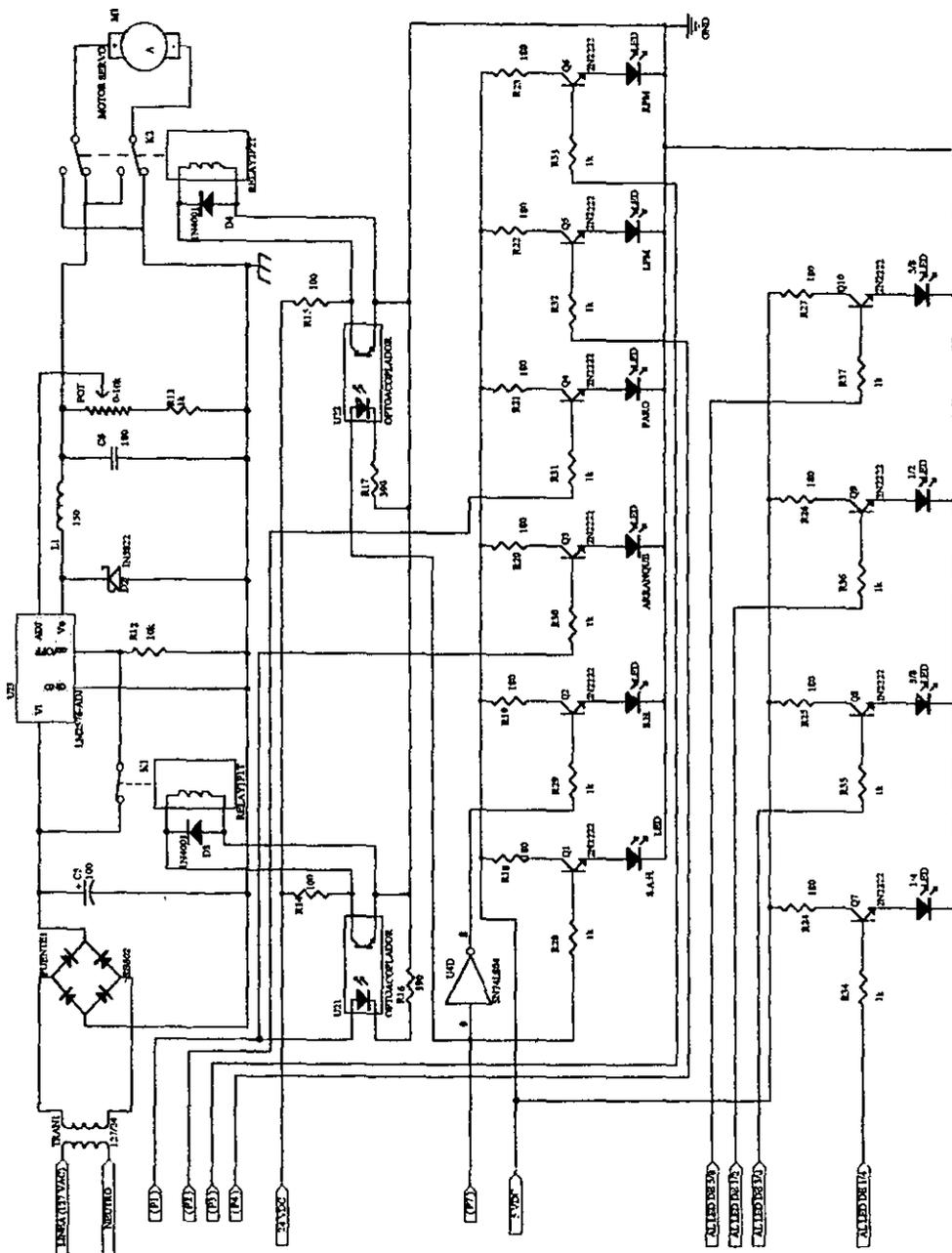


Figura 4.27. Diagrama eléctrico de la bomba de rodillos. (Continúa).

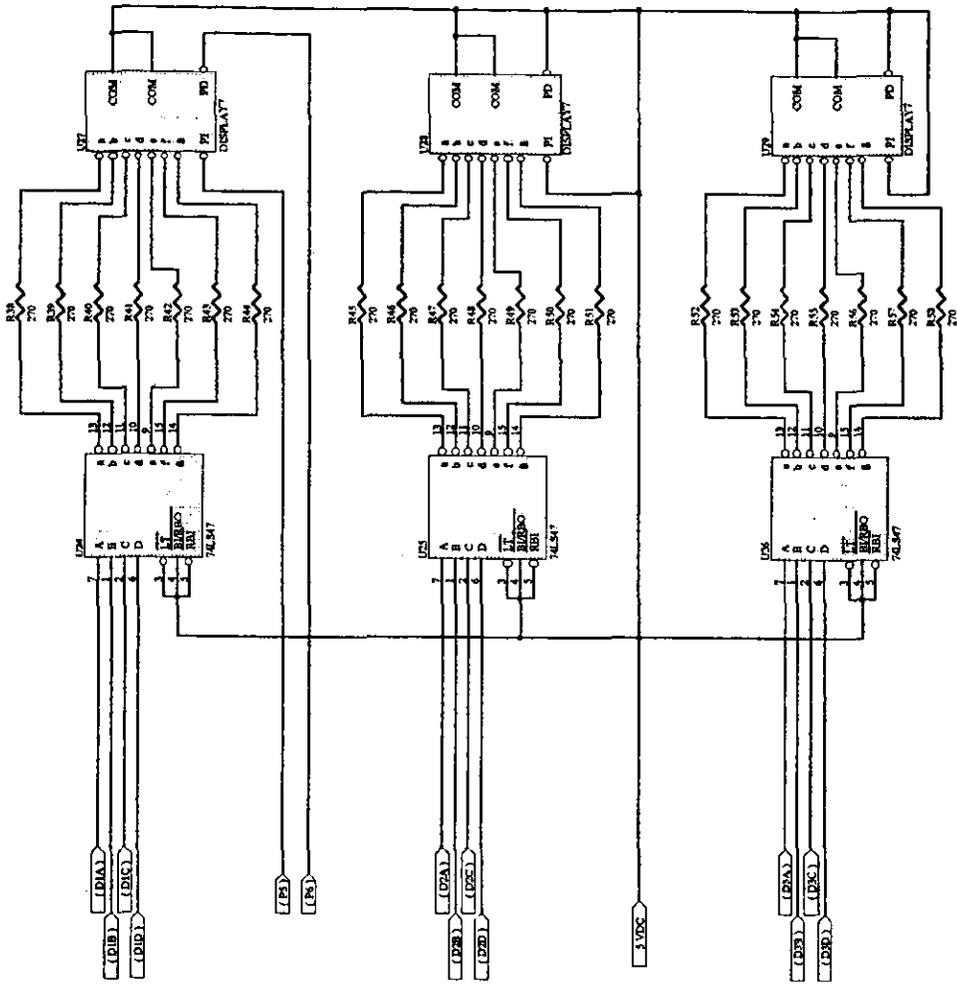


Figura 4.27. Diagrama eléctrico de la bomba de rodillos.

4.10 LISTA DE PARTES DE LA BOMBA DE RODILLOS

Dispositivo	Número de parte y/o Características	Descripción
U1,U2	SN74LS32	Compuertas OR de dos entradas
U3	SN74LS08	Compuerta AND de dos entradas
U4	SN74LS04	Inversores
U5	LM555	Timmer
U6,U7	SN74LS161A	Contador binario de 4 bits
U8-U9, U15-U20	SN74LS373	Latch octal
U10	SN74LS165	Convertidor paralelo-serie
U11	SN74LS125A	Buffer de tres estados
U12	PIC 16C71	Microcontrolador
U13	SN74LS164	Convertidor serie-paralelo
U14	SN74LS138	Demultiplexor
U21,U22	MOC1005	opto-acoplador
U23	LM2576-ADJ	Regulador de voltaje Step-Down
U24-U26	SN74LS47	Convertidor BCD a 7 segmentos
U27-U29		display de 7 segmentos ánodo común
Q1-Q10	2N2222	Transistor NPN
D1	1N914	Diodo de pequeña señal
D2	1N5822	Diodo Schottky
D3,D4	1N4001	Diodo rectificador
R1-R8	1k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R9	13.3k Ω , +1%, 1/4 W	Resistencia de película metálica
R10,R12	10k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R11,R13	1k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R14,R15	100 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R16,R17	390 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R18-R27	180 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R28-R37	1.2k Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
R38-R58	270 Ω , +5%, 1/4 W	Resistencia de carbón
C1	0.01 μ F, +10%	Capacitor cerámico
C2	68 μ F, +10%, 25 V	Capacitor electrolítico
C3	22 μ F, +10%	Capacitor cerámico
C4,C5	47 pF, +10%	Capacitor cerámico
C6	100 μ F, +10%, 50 V	Capacitor electrolítico
C7	180 μ F, +10%, 50 V	Capacitor electrolítico
FUENTE DE ALIMENTACIÓN		
Dispositivo	Número de parte y/o Características	Descripción
T1	127/12 VCA, 3 A	Transformador reductor
PR1,PR2	SB305	Puente rectificador
C1	820 μ F, +10%, 50 V	Capacitor electrolítico
C2,C3	0.33 μ F, +10%	Capacitor cerámico
C4	820 μ F, +10%	Capacitor electrolítico
C5,C6	0.1 μ F, +10%, 50 V	Capacitor cerámico
REG1	MC7812	Regulador de voltaje
REG2	MC78T05	Regulador de voltaje
F1	3AG1/2A	Fusible fusión normal 500 mA 250 V

Figura 4.28. Lista de partes de la bomba de rodillos.

4. 11 DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL CONTROL DE LA BOMBA DE RODILLOS

Continuando con la estructura planteada en el intercambiador de temperatura, se procederá a presentar el diagrama de flujo principal del programa que controla la operación de la bomba de rodillos, así como los diagramas de flujo de las subrutinas que en su conjunto harán que el *MCU* lleve a cabo las diferentes funciones planteadas. En cada diagrama de flujo presentado se dará una breve explicación del mismo.

El objetivo principal del programa consiste en monitorear la velocidad deseada de la bomba de rodillos en *r.p.m.*, o si se desea, monitorear el gasto requerido en *l.p.m.* La presentación de las lecturas efectuadas de las variables se hará utilizando los *displays* de 7 segmentos.

4.12 DIAGRAMAS DE FLUJO

a) Diagrama de flujo principal

El programa principal para la bomba de rodillos mostrado en la figura 4.29 inicia con la declaración de variables y asignación de valores iniciales, los cuales son PARO, RPM, diámetro de 1/4", sentido de giro horario y la habilitación de las interrupciones. Continúa con la verificación de la señal en la terminal RB1, que nos indica que la lectura de la velocidad está lista, si no es así continúa verificando la señal y una vez activada, el *MCU* carga el valor de la velocidad a través de una rutina de recepción de datos en forma serial y mediante una rutina de conversión hexadecimal a decimal, obtiene los datos que se van a desplegar en los indicadores de 7 segmentos.

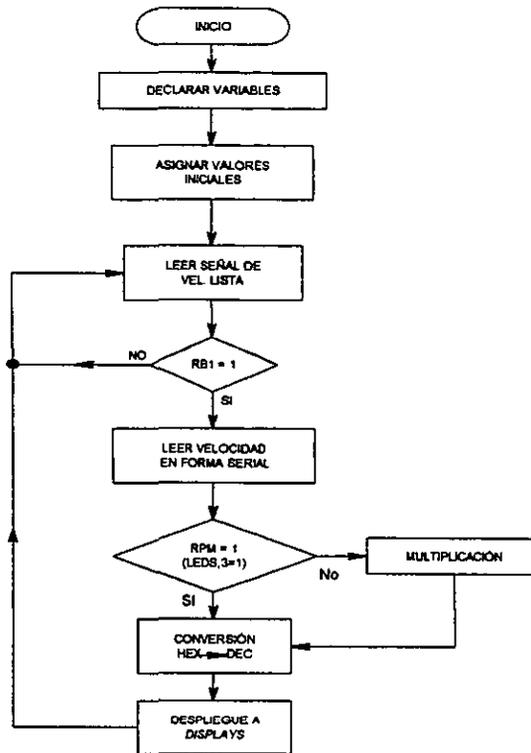


Figura 4.29. Diagrama de flujo principal.

b) Rutina de interrupciones

En esta rutina, ver figura 4.30, se revisan cada una de las entradas que generan la interrupción externa, las cuales pueden ser:

- Paro
- Arranque
- RPM/LPM
- Selección de diámetro
- Giro en sentido horario
- Giro en sentido antihorario

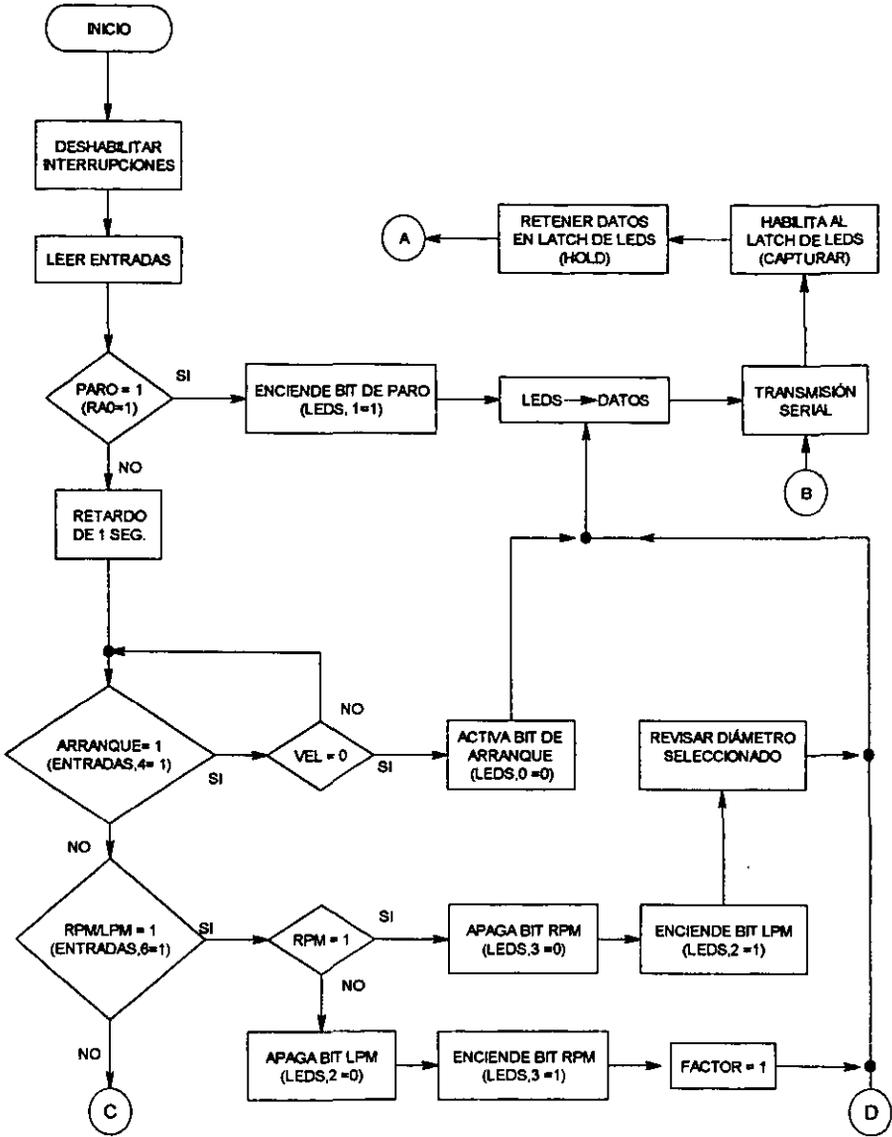


Figura 4.30. Diagrama de flujo de la rutina de interrupciones. (Continúa).

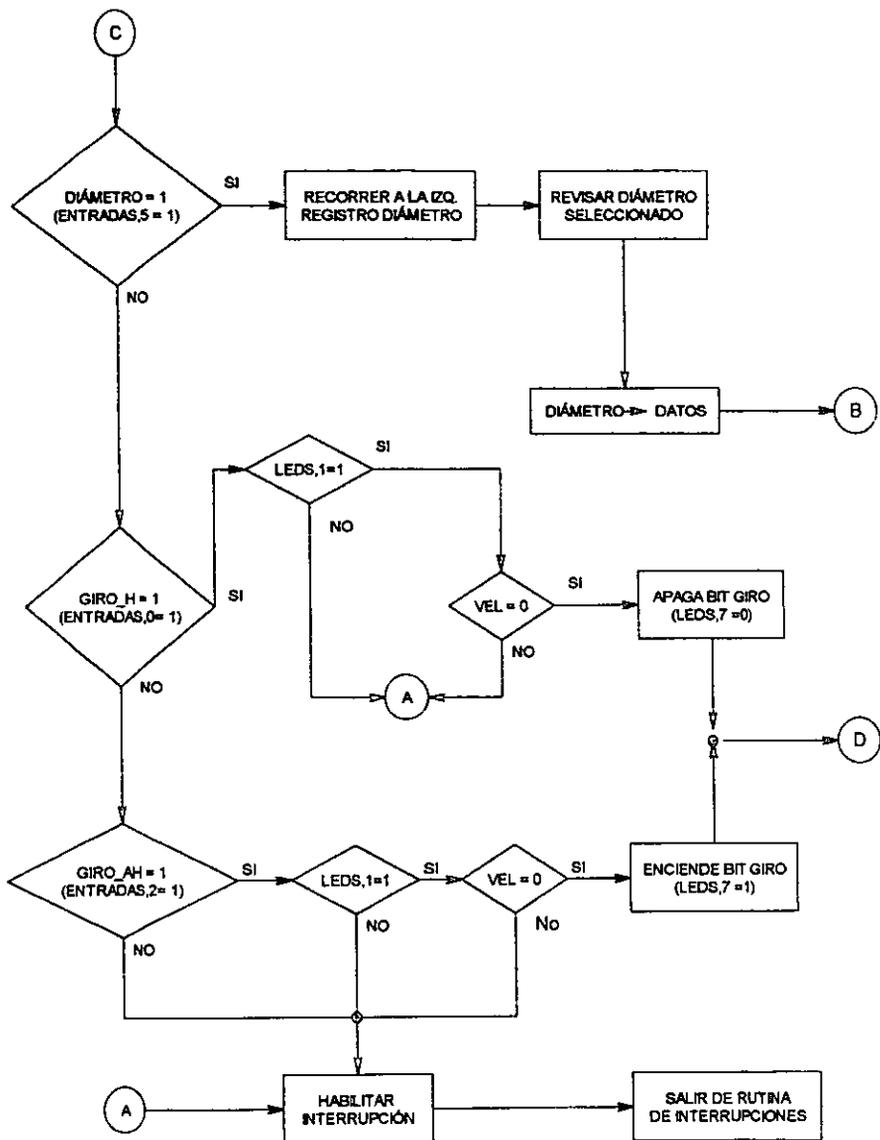


Figura 4.30. Diagrama de flujo de la rutina de interrupciones.

La tecla de paro tiene prioridad y al ser activada su efecto es inmediato provocando que el *MCU* origine una señal que deshabilite al relevador que "suministra" voltaje al motor de *CD*.

Las demás teclas tienen un retardo de 1 segundo durante el cual el usuario debe permanecer pulsando la tecla seleccionada, esto es para evitar que se activen por error o accidentalmente. El ingreso de éstas al *MCU* se hace a través de un convertidor paralelo/serie y para la lectura de estas señales se almacenan en un registro de entradas, el cual se muestra en la figura 4.31.

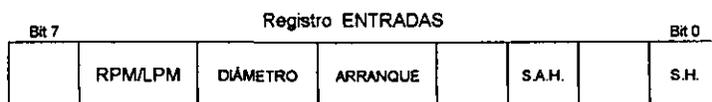


Figura 4.31. Registro para señales de entrada.

Las acciones de control que origine el *MCU* serán de la siguiente forma:

1.- El microcontrolador discriminará cuál tecla fue presionada y dependiendo de ésta, escribirá en el registro correspondiente al *bit* de control que corresponda a la señal activada. Estos registros se muestran en la figura 4.32, los cuales muestran los diferentes *bits* de control.

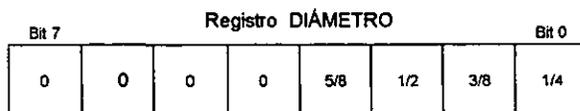
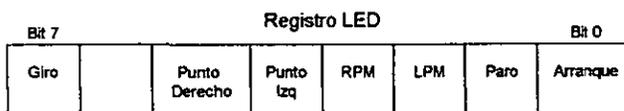


Figura 4.32. Registros de control LED y DIÁMETRO.

2.- Una vez encendidos o apagados los *bits* de control para cada acción, éstos se transmitirán en forma serial mediante la rutina de "transmisión serial" .

3.- Los datos transmitidos (1 *byte*) estarán presentes en las terminales de entrada de todos los *latch*, por lo que el siguiente paso es habilitar el *latch* correspondiente escribiendo en el puerto A los *bits* adecuados (RA2, RA3 y RA4), para que al entrar en el *DEMUX* habiliten la salida deseada que servirá como señal de *latch enable* permitiendo la captura de los datos por el *latch* seleccionado.

4.- El siguiente paso es enviar una señal de retención (*hold*) al *latch* seleccionado. Esto se logra haciendo que la entrada de *LE* vaya a uno lógico, para lo cual con las señales de control del *DEMUX* se selecciona una salida que no esté siendo utilizada (la 8).

A continuación se describen algunas consideraciones tomadas para cada señal de interrupción:

Paro: Su acción es inmediata y se origina ya sea que se presione directamente la tecla de paro, la señal proveniente del *AEPS* o la señal proveniente de un *microswitch* instalado en la tapa del cabezal, el cual monitorea su posición. Al ser levantada se accionará la señal de paro.

Arranque: Sólo se habilitará el arranque si y sólo si la señal de paro está inactiva y si la velocidad del rotor es cero.

RPM/LPM: Al oprimir este botón y si la señal de *RPM* está activa, ésta se apagará y se encenderá la de *LPM* o viceversa; además, el *MCU* revisará en el caso de que al final se encienda la señal de *LPM*, cuál diámetro está previamente seleccionado y le asignará el factor que corresponda al diámetro de la manguera.

Este factor al multiplicarse por la velocidad dará el valor de flujo que está entregando la bomba.

Selección de diámetro: Cada vez que se presione esta tecla el *MCU* avanzará una posición en la "tabla" de diámetros y asignará el factor correspondiente al nuevo diámetro seleccionado.

Giro en sentido horario o antihorario: El *MCU* revisará si la señal de paro está activa y si la velocidad de la bomba es cero. Si esto se cumple, habilitará el mecanismo para cambio del sentido de giro en la posición deseada y si cualquiera de estas dos condiciones no se cumple, entonces el *MCU* no generará ninguna acción.

c) Subrutina de recepción serial

Mediante esta subrutina de recepción se recuperarán los datos almacenados en los *latch* de entrada, el diagrama de flujo se muestra en la figura 4.33.

Primero se cargarán los datos en el convertidor paralelo/serie y se configurará la terminal RB3 como entrada y también es necesario habilitar el *buffer* de 3 estados para que los datos puedan entrar al *MCU*. Para recuperar los 8 *bits* mediante el convertidor paralelo/serie, se realizarán 8 ciclos de lectura a la terminal RB3, por lo que antes de entrar al ciclo se iniciará un contador con 7. Dentro del ciclo se verificará el valor que contiene RB3 que en un principio contiene el *bit* más significativo de las entradas del convertidor y lo escribirá en el *bit*,0 del registro ENTRADAS, luego lo correrá hacia la izquierda y decrementará el contador, si el valor del contador no es cero el *MCU* enviará un señal de reloj a través de RB4, con lo que los datos almacenados en el convertidor se corren hacia la derecha, presentando a su salida el siguiente *bit*, de ahí se vuelve entrar al ciclo del cual se sale cuando el contador llega a cero.

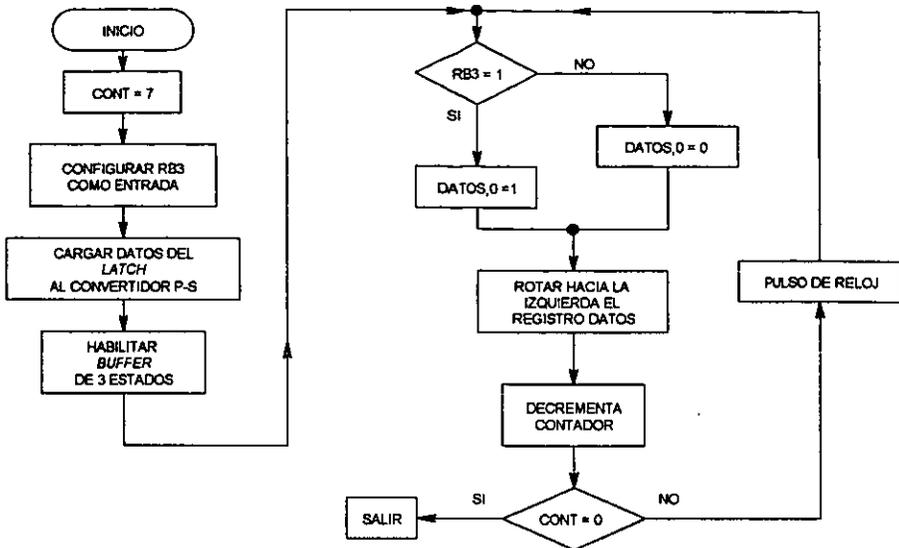


Figura 4.33. Subrutina de recepción serial.

d) Subrutina de revisión de diámetro

En la figura 4.34, se muestra el diagrama de flujo de la subrutina que se utilizará para la revisión del diámetro de la manguera que se empleará en la bomba de rodillos.

En la subrutina se utiliza un registro llamado diámetro, al cual se asignaron los diferentes diámetros a utilizarse.

Los valores del diámetro estarán ligados a 4 bits dentro del registro diámetro y al iniciar la subrutina, se verifica el estado del bit al cual se asignará la manguera de 1/4" de diámetro. Si éste está activado; es decir bit 0 = 1, entonces a la variable factor se le asigna el valor correspondiente al diámetro 1/4". Si el bit 0 no es 1 la subrutina verificará el estado del bit 1, asignado a la manguera de 3/8" de diámetro.

El proceso descrito para la manguera de 1/4" se repite para la de 3/8", 1/2" y 5/8". Una vez asignado el valor a la variable factor, esta subrutina termina y el factor es enviado a la subrutina de multiplicación.

Las variables FACT14, FACT38, FACT12 y FACT58 contienen valores constantes del volumen de fluido que desplazará la bomba para ese diámetro seleccionado.

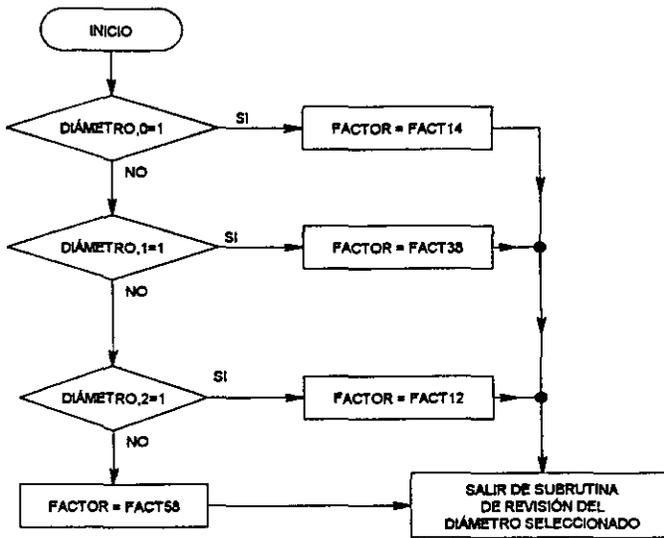


Figura 4.34. Diagrama de flujo de la subrutina de revisión de diámetro.

e) Subrutina de Multiplicación

Para la rutina de multiplicación se tomarán en cuenta los valores de velocidad y el factor de volumen desplazado basándose en el diámetro de la manguera seleccionada. Dado que el PIC16C71 no cuenta con una instrucción que realice la operación de multiplicación se desarrolló la subrutina de multiplicación que se muestra en la figura 4.35. La multiplicación se lleva a cabo sumando el

multiplicando (MULTIPLICNDO) consigo mismo y este número de sumas lo controla el multiplicador (MULTIPLICDR).

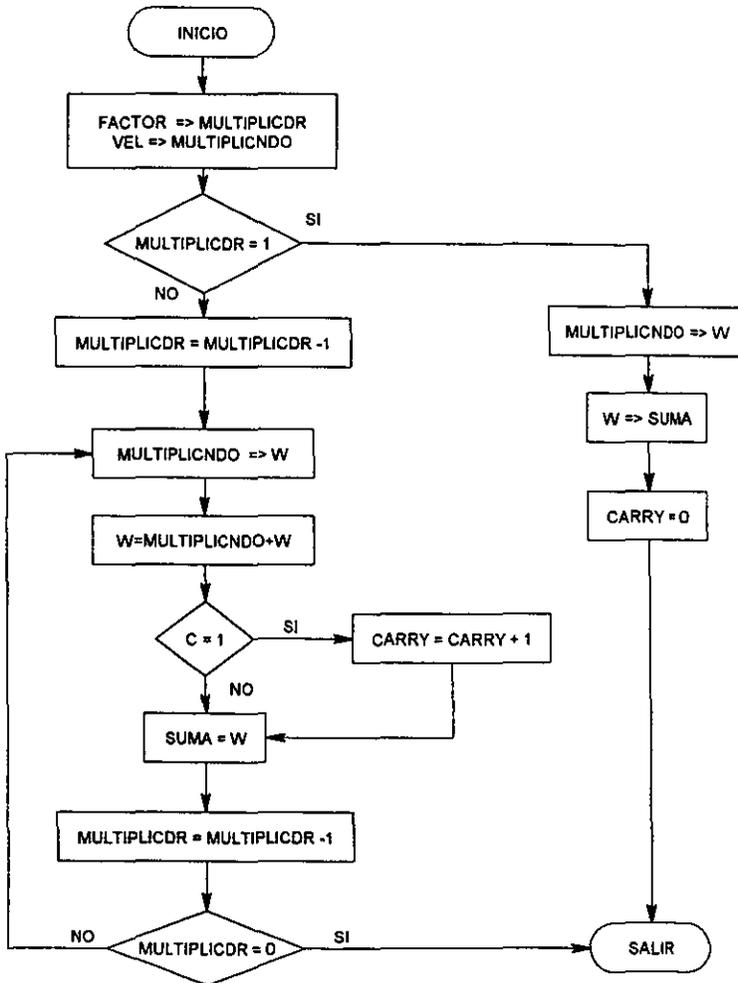


Figura 4.35. Diagrama de flujo de la subrutina de multiplicación.

Al iniciar la subrutina la variable **FACTOR** es almacenada en la variable **MULTIPLICDR** y la variable **VEL** se almacena en **MULTIPLICNDO**. Si la variable **MULTIPLICDR** es igual a 1, el resultado será el valor que presente **MULTIPLICNDO** al inicio de la subrutina. Cuando el valor de **MULTIPLICDR** es mayor a 1 la subrutina hará un ciclo de sumas cuyo número será igual al valor que tenga **MULTIPLICDR**. El valor de la variable **MULTIPLICNDO** se almacena en el registro de trabajo **W** y se lleva a cabo la primera suma. El valor de la suma de **MULTIPLICND** y el registro **W** se almacena en **W** otra vez y el valor que existe en **W** se almacena en la variable **SUMA**; se verifica si existe acarreo, en cuyo caso se incrementará el valor de la variable **CARRY** y se decrementará **MULTIPLICADR**, esta última es la variable que controla este ciclo y se verifica si esto es igual a cero: si lo es, la subrutina llega a su fin y de no ser así el ciclo se repite al punto donde el valor de **MULTIPLICND** se almacena en el registro de trabajo **W**.

f) Rutina de conversión hexadecimal a decimal

La rutina de conversión hexadecimal se elaboró para llevar a cabo la conversión del valor hexadecimal, resultado de la multiplicación del valor de la velocidad y el factor del volumen desplazado de acuerdo al calibre de la manguera que se esté usando; la forma en que se convierte un valor hexadecimal en su equivalente decimal para su despliegue, se hace a partir de descomponer el valor hexadecimal en sus respectivos componentes de decenas de millar, unidades de millar, centenas, decenas y unidades.

Al inicio de esta rutina los valores de **SUMA** y **CARRY**, provenientes de la subrutina de multiplicación, son almacenados en las variables **DATOH** y **DATOL**, ya que los primeros serán utilizados en una subrutina posterior. El valor hexadecimal equivalente al dígito de decena de millar (**DML**) se va a sustraer del valor **DATOL**, si el resultado de esta sustracción es negativo se va a sustraer a **DATOH** el valor del dígito de decena de millar (**DMH**) menos uno, éste último es el acarreo resultante

de la resta de la parte baja de DATO. Si el resultado de la sustracción de DATOL y DML es positivo se pasa inmediatamente a la sustracción de DATOH y DMH; si el resultado de esta operación es igual a cero o negativo hacemos el CONT igual a cero, lo que nos indica que el valor de DATOH es menor a las decenas de millar, y no habrá valor decimal en esa posición, no así si el resultado es positivo, donde el contador CONT se incrementará en uno cada vez que se haga la sustracción de DATOH y DMH y si el resultado no es negativo, el valor acumulado en CONT se almacenará en la variable DIEZMIL; una vez obtenido el valor de la variable DIEZMIL los valores actuales de DATOHT y DATOLT se almacenan en DATOH y DATOL para pasar a la siguiente parte de la subrutina donde se obtendrán las unidades de millar.

Las unidades de millar se obtienen de manera similar a como se obtuvieron las decenas de millar. Primeramente se sustrae el equivalente hexadecimal de las unidades de millar de DATOL y se almacena en la variable de almacenamiento temporal DATOLT. Se verifica si esta primera resta es negativa en cuyo caso pasará a sustraer de DATOH el valor de MLH menos uno, éste último es el acarreo resultante de la resta de DATOL y MLL; si no, sustrae de DATOH el valor de MLH y lo almacena en DATOHT. Si el resultado no es negativo aumentará el valor de CONT en una unidad y este ciclo se repetirá tantas veces hasta que el resultado de la sustracción de DATOH y MLH sea negativo, en este punto el valor que tengan DATOHT y DATOLT se almacenan en DATOH y DATOL respectivamente y el valor del contador es almacenado en MILLARES y ese será el valor que se desplegará en la posición decimal correspondiente a las unidades de millar.

La conversión para las centenas y decenas se llevará a cabo de la misma manera que se hizo para las decenas de millar y las unidades de millar sólo que ahora se va a sustraer el valor hexadecimal equivalente a las centenas (CENH y CENL) y el de las decenas (DECL) respectivamente en las variables DATOH y DATOL, según la posición de la subrutina en la que se encuentren y los valores de

los contadores se almacenarán en la variable CENTENAS y DECENAS, las cuales pasarán a la subrutina de despliegue para ser enviados a los indicadores luminosos. Las unidades se obtienen al finalizar la porción correspondiente a las decenas y el valor de éstas será el que presente la variable DATOL en el momento en que el resultado de la sustracción de DECL y DATOL sea negativo. El valor final de las unidades se almacena en la variable UNIDADES y de ahí pasa a la subrutina de despliegue de datos. Esta rutina se muestra en la figura 4.36.

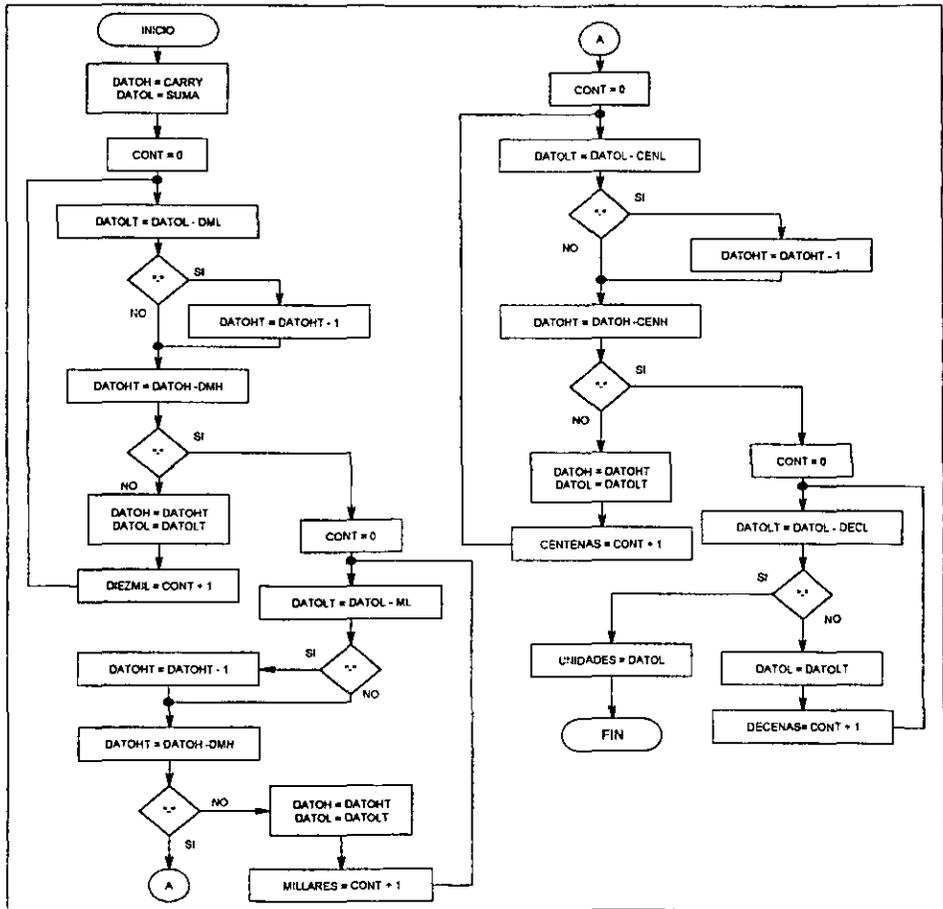


Figura 4.36. Subrutina de conversión hexadecimal a decimal.

g) Subrutina de transmisión serial

En la figura 4.37, se muestra el diagrama de flujo que se desarrolló para esta subrutina. La transmisión de los datos almacenados en la variable DATO_S se logra trabajando directamente sobre el *bit* 8 de este registro; cuando el valor de este *bit* sea 1, se escribirá un 1 en la salida RB3 del puerto PORTB, pero si el *bit* 8 es 0 se escribirá un 0 en la misma terminal y hará un corrimiento a la izquierda de ese registro para transmitir el siguiente valor. La señal de reloj para sincronizar la transferencia con el dispositivo convertidor serie/paralelo se generará escribiendo 1 y 0 alternadamente en la terminal RB4 y será totalmente independiente del valor que presente el *bit* 8 de DATOS_S en ese momento. Esta operación de comparación del *bit* y la generación del pulso de reloj será realizada 8 veces y se hará en un ciclo controlado por la variable CONT, la cual iniciará con un valor 7 y hará que la subrutina termine cuando CONT sea cero.

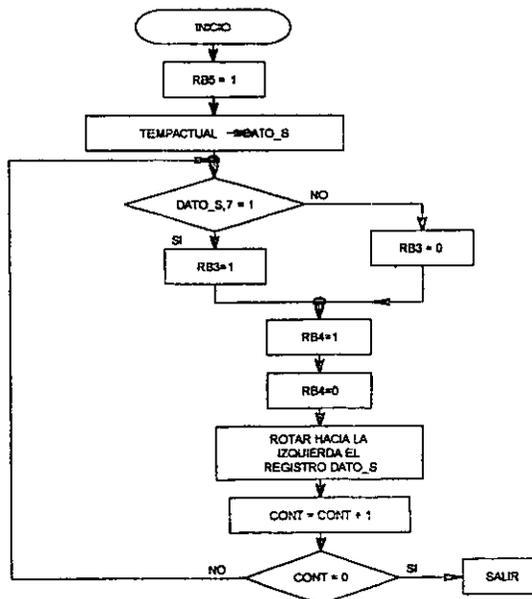


Figura 4.37. Subrutina de transmisión serial.

h) Subrutina de despliegue de datos

Esta subrutina inicia la verificando el valor del *bit 3* del registro *LED*, la asignación de los *bits* de este registro se muestran en la figura 4.38.



Figura 4.38. Datos contenidos en el registro *led*.

Si el valor del *bit 3* es uno indica que se está leyendo y desplegando valores de *RPM*; pero si el *bit 3* es cero entonces se estará leyendo y desplegando *LPM*. Para el despliegue de *RPM* la subrutina realizará las siguientes pasos: una vez verificado que el *bit 3* del registro *LED* sea igual a 1 apagará los indicadores luminosos correspondientes a los puntos decimales y escribirá el valor de las centenas a la variable *DATOS*. Una vez hecho esto, transmite serialmente el registro de *DATOS* para habilitar el *display 1* que desplegará las centenas, hará $RA2=0$, $RA3=1$ y $RA4=0$; una vez desplegado el dato hace $RA2$, $RA3$ y $RA4$ igual a 1 para retener el valor dentro del *latch*. Posteriormente escribe el valor del registro *DECENAS* a la variable *DATOS*, transmite serialmente éste y ahora habilita el *display 2* ($RA2=1$, $RA3=1$ y $RA4=0$), para retener hace $RA2$, $RA3$ y $RA4$ igual a 1. Esta misma secuencia de datos se repite para las unidades, a diferencia que para habilitar el *display 3* de unidades hará $RA2 =0$ $RA3=0$ y $RA4=0$ e igualmente hace $RA2 =1$ $RA3=1$ y $RA4=1$ para mantener habilitado el *latch*. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 4.38.

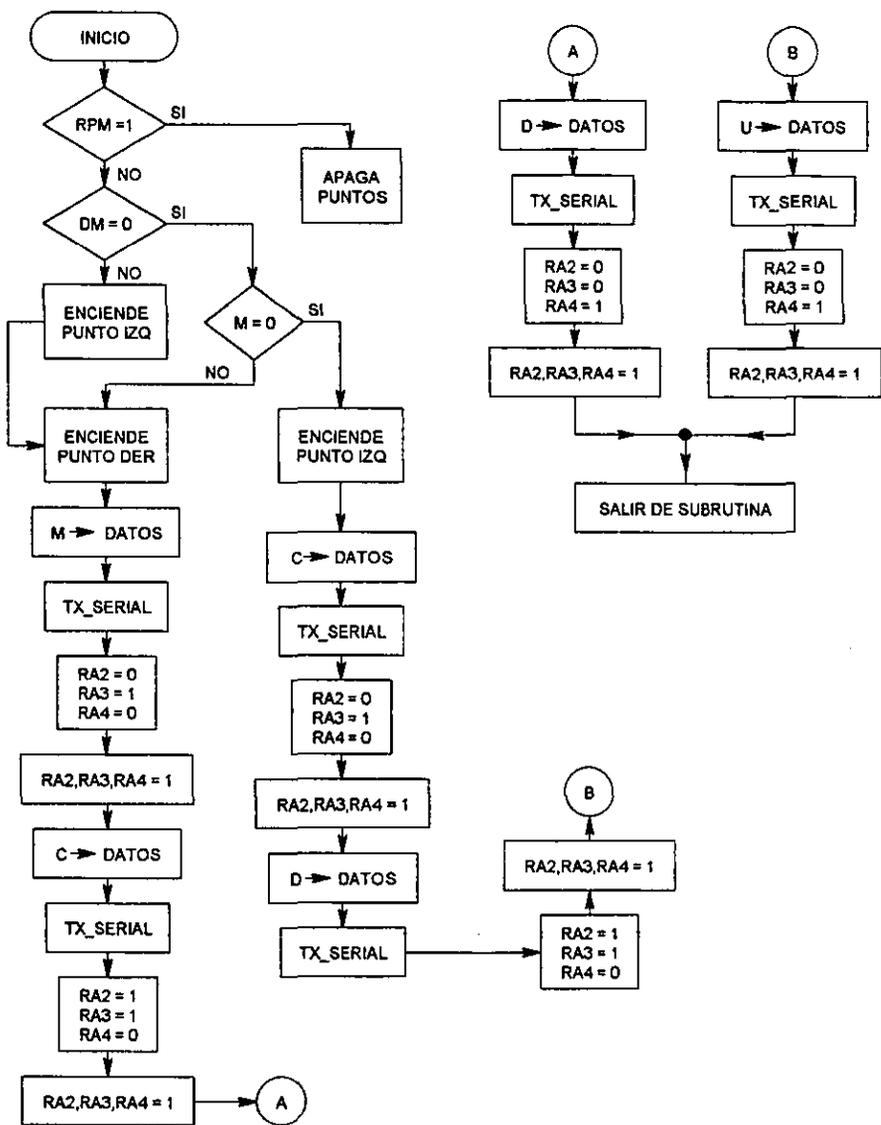


Figura 4.39. Subrutina de despliegue de datos.

Para el despliegue de los litros la subrutina verificará si el valor de las decenas de millar es diferente a cero, encenderá ambos puntos del *display* 1 como indicación para el usuario de que el valor excede los 10 *l.p.m.* y procederá a verificar el de los millares; si es diferente a cero, enciende el punto derecho, si es cero enciende el punto izquierdo. De lo anterior se tiene que los datos a desplegar por los *display* dependerán de que punto del *display* 1 se haya encendido, y se realizará como en el caso de RPM, primero cargando el valor a desplegar en el registro DATOS, transmitirlo serialmente al convertidor serie/paralelo y direccionarlo al *latch* correspondiente y retener el valor en el *latch*. Si es el punto izquierdo, los registros que se desplegarán serán los mismos que para cuando se tiene RPM, es decir CENTENAS, DECENAS Y UNIDADES en el *display* 1,2,3 respectivamente. De lo contrario, el valor del registro MILLARES se carga en DATOS y éste es transmitido serialmente al *display* 1 para habilitarlo RA=0, RA3=1 y RA4=0, y posteriormente se hace RA2, RA3 y RA4 igual a uno para retener el dato en el *latch*. En el *display* 2 se desplegará el registro CENTENAS para habilitarlo se tendrá RA=1, RA3=1 y RA4=0. Finalmente para habilitar el *display* 3 se tendrá RA=0, RA3=0 y RA4=1, el cual desplegará el registro DECENAS.

4.13 LISTADO DEL PROGRAMA DE LA BOMBA DE RODILLOS (COMPILACIÓN)

A continuación se presenta el listado del programa de control para el microcontrolador PIC16C71 utilizado en la tarjeta de control para la operación de la bomba de rodillos. Este listado es el resultado de la compilación en lenguaje ensamblador. En la parte izquierda aparece la secuencia numérica ascendente que el programa le ha asignado a cada una de las instrucciones y/o operaciones, le sigue el código de máquina correspondiente a cada una de las operaciones y/o instrucciones definidas y a su lado aparecen estas mismas como mnemónicos. Más a la derecha se hacen los comentarios que se requieren para una fácil interpretación. Al igual que en el listado para el microcontrolador del intercambiador de temperatura, en la parte inicial se tiene el encabezado del programa, su

descripción y los integrantes en el desarrollo del mismo. Enseguida, se definen las variables que intervienen en el proceso y posteriormente se desarrolla el programa principal y las rutinas y subrutinas que completan cada una de las fases del programa de la bomba de rodillos.

```

0001 .....
0002 :.
0003 :.
0004 :.
0005 :.
0006 :.
0007 :.
0008 :.
0009 :.
0010 :.
0011 :.
0012 :.
0013 :.
0014 :.
0015 :.
0016 :.
0017 :.
0018 .....
0019 :.
0020 :.
0021 :.
0022 .....
0023 :.
0024 .....
0025 :.
0026 0081 OPCION EQU 81H
0027 0008 INTCON EQU 08H
0028 0003 STATUS EQU 03H
0029 0005 PORTA EQU 05H
0030 0006 PORTB EQU 06H
0031 0085 TRISA EQU 85H
0032 0086 TRISB EQU 86H
0033 0010 DIAMETRO EQU 10H
0034 0011 LEDS EQU 11H
0035 0012 VELOCIDAD EQU 12H
0036 0013 DATOS EQU 13H
0037 0014 ENTRADAS EQU 14H
0038 0015 FACTOR EQU 15H
0039 0016 MULTIPLICADOR EQU 16H
0040 0017 MULTIPLICANDO EQU 17H
0041 0018 SUMA EQU 18H
0042 0019 CARRY EQU 19H
0043 001A CONT EQU 1AH
0044 001B CONTADOR EQU 1BH
0045 001C DIEZMIL EQU 1CH
0046 001D MILLARES EQU 1DH
0047 001E CENTENAS EQU 1EH
0048 001F DECENAS EQU 1FH
0049 0020 UNIDADES EQU 20H
0050 0021 DATOH EQU 21H
0051 0022 DATOL EQU 22H
0052 0023 DATOLT EQU 23H
0053 0024 DATOHT EQU 24H
0054 0025 COUNT3 EQU 25H
0055 0026 COUNT2 EQU 26H
0056 0027 HOLA1 EQU 27H
0057 :
0058 :

```

```

0059 .....
0060 *      PROGRAMA PRINCIPAL      *
0061 .....
0062
0063 0000          ORG 0000H
0064 0000 2806          GOTO PRINCIPAL
0065 0000          ORG 0004H
0066 0004 2112          CALL INTERRUPT
0067 0005 0009          RETFIE
0068 0000          ORG 0006H
0069 0006 3047          PRINCIPAL MOV LW 47H
0070 0007 0081          MOVWF OPCION          ;INTERRUPCIONES EN
0071                                     ;FLANCO DE SUBIDA
0072 0008 3010          MOV LW 10H
0073 0009 008B          MOVWF INTCON          ;HABILITA INT.EXT.
0074 000A 3011          MOV LW 11H
0075 000B 0090          MOVWF DIAMETRO          ;ACTIVO EL BIT DE 1/4
0076 000C 308A          MOV LW 00BAH
0077 000D 0091          MOVWF LEDS          ;ACTIVO LOS BITS:
0078                                     ;PARO,RPM,SH
0079 000E 3000          MOV LW 00H
0080 000F 0092          MOVWF VELOCIDAD          ;VELOCIDAD=0 RPM
0081 0010 0185          CLR F PORTA          ;LIMPIA EL PUERTO A
0082 0011 1103          BCF STATUS,2
0083 0012 1683          BSF STATUS,5          ;SELECCIONAMOS BANCO 1
0084 0013 1303          BCF STATUS,6
0085 0014 301E          MOV LW 001EH          ;HABILITAMOS RA0 COMO
0086                                     ;ENTRADA Y
0087 0015 0085          MOVWF TRISA          ;RA1-RA4 COMO SALIDAS
0088 0016 0186          CLR F PORTB          ;LIMPIA EL PUERTO B
0089 0017 1103          BCF STATUS,2
0090 0018 3003          MOV LW 03H          ;INICIALMENTE EL
0091                                     ;PROGRAMA HABILITA RBO
0092 0019 0086          MOVWF TRISB          ;Y RB1 COMO ENTRADAS
0093                                     ;HABILITA RB2-RB7 COMO
0094                                     ;SALIDAS
0095 001A 138B          ESPERA_VEL BCF INTCON,7
0096 001B 1F86          BTFS PORTB,7
0097 001C 281A          GOTO ESPERA_VEL
0098 001D 1306          BCF PORTB,6
0099 001E 1286          BCF PORTB,5
0100 001F 2066          CALL RSERIE
0101 0020 0813          MOV F DATOS,0
0102 0021 0094          MOVWF ENTRADAS
0103 0022 0092          MOVWF VELOCIDAD
0104 0023 1D91          BTFS LEDS,3
0105 0024 2828          GOTO MULT
0106 0025 2165          CONVERSION CALL HEX_DEC
0107 0026 207D          CALL DESPLIEGUE
0108 0027 281A          GOTO ESPERA_VEL
0109 0028 2039          MULT CALL MULTIPLICACION
0110 0029 2825          GOTO CONVERSION

0111 .....
0112 *      SUBROUTINA DE REVISION DE DIAMETRO      *
0113 .....

0114 002A 1C10          REVISAR_D BTFS DIAMETRO,0          ;SI D=1/4,SALTA
0115                                     ;LA SIG.INST.
0116 002B 282E          GOTO SERA_38
0117 002C 300D          MOV LW 000DH          ;W=FACT1/4
0118 002D 2837          GOTO FIN_REV_D
0119 002E 1C90          SERA_38 BTFS DIAMETRO,1          ;SI D=3/8,SALTA LA
0120                                     ;SIG.INST.
0121 002F 2832          GOTO SERA_12
0122 0030 301B          MOV LW 001BH          ;W=FACT3/8
0123 0031 2837          GOTO FIN_REV_D
0124 0032 1C90          SERA_12 BTFS DIAMETRO,1          ;SI D=1/2,SALTA
0125                                     ;LA SIG.INST.

```

```

0126 0033 2836          GOTO ES_58
0127 0034 302D          MOVLW 002DH          ;W=FACT1/2
0128 0035 2837          GOTO FIN_REV_D
0129 0036 3040  ES_58   MOVLW 40H           ;W=FACT5/8
0130 0037 0095  FIN_REV_D MOVWF FACTOR
0131 0038 0008          RETURN

0132  :.....
0133  : SUBROUTINA DE MULTIPLICACION *
0134  :.....

0135 0039 0815 MULTIPLICACION MOVF FACTOR,0
0136 003A 0096          MOVWF MULTIPLICADOR
0137 003B 0812          MOVF VELOCIDAD,0
0138 003C 0097          MOVWF MULTIPLICANDO
0139 003D 3001          MOVLW 01H
0140 003E 0216          SUBWF MULTIPLICADOR,0
0141 003F 1903          BTFSC STATUS,2
0142 0040 284D          GOTO FUE_CERO
0143 0041 0396          DECF MULTIPLICADOR,1
0144 0042 0817  OTRA_SUM  MOVF MULTIPLICANDO,0
0145 0043 0717          ADDWF MULTIPLICANDO,0
0146 0044 1803          BTFSC STATUS,0
0147 0045 2848          GOTO SI_CARRY
0148 0046 0098  RET_CARRY MOVWF SUMA
0149 0047 0396          DECF MULTIPLICADOR,1
0150 0048 1D03          BTFSS STATUS,2
0151 0049 2842          GOTO OTRA_SUM
0152 004A 2851          GOTO SALTE
0153 004B 0A99  SI_CARRY  INCF CARRY,1
0154 004C 2846          GOTO RET_CARRY
0155 004D 0817  FUE_CERO MOVF MULTIPLICANDO,0
0156 004E 0098          MOVWF SUMA
0157 004F 3000          MOVLW 00H
0158 0050 0099          MOVWF CARRY
0159 0051 0008  SALTE    RETURN

0160  :.....
0161  : SUBROUTINA DE TRANSMISION SERIAL *
0162  :.....

0163 0052 1686  TX_SERIE  BSF PORTB,5
0164 0053 1186          BCF TRISB,3          ;HABILITA RB3
0165                                     ;COMO SALIDA
0166 0054 3008          MOVLW 08H
0167 0055 009A          MOVWF CONT          ;INICIALIZA EL CONTADOR
0168 0056 1893  BITSTATUS BTFSC DATOS,7
0169 0057 2860          GOTO ENVIA_1
0170 0058 2862          GOTO ENVIA_0
0171 0059 1606  RELOJ    BSF PORTB,4          ;ESCRIBE 1 EN RB4
0172 005A 1206          BCF PORTB,4          ;ESCRIBE 0 EN RB4
0173 005B 0093          RLF DATOS,1          ;ROTA A LA IZQUIERDA
0174                                     ;EL REGISTRO
0175 005C 039B          DECF CONTADOR,1      ;DECREMENTA EL CONTADOR
0176                                     ;EN 1
0177 005D 1D03          BTFSS STATUS,2
0178 005E 2856          GOTO BITSTATUS
0179 005F 2864          GOTO SALIDA
0180 0060 1586  ENVIA_1  BSF PORTB,3          ;ESCRIBE 1 EN RB3
0181 0061 2859          GOTO RELOJ
0182 0062 1186  ENVIA_0  BCF PORTB,3          ;ESCRIBE 0 EN RB3
0183 0063 2859          GOTO RELOJ
0184 0064 1003  SALIDA  BCF STATUS,0          ;LIMPIAMOS LA BANDERA
0185                                     ;DE CARRY QUE SE
0186                                     ;UTILIZO AL ROTAR EN
0187                                     ;REGISTRO
0188 0065 0008          RETURN

0189  :.....

```

```

0190      ;*  SUBROUTINA DE RECEPCION SERIAL  *
0191      ;*  .....  *

0192 0068 3007 RSERIE      MOV LW 07H      ;W=7
0193 0067 009A      MOV WF CONT    ;CONT=W
0194 0068 1586      BSF TRISB,3    ;RB3=ENTRADA
0195 0069 1106      BCF PORTB,2  ;CARGAR DATOS EN EL
0196                                     ;CONVERTIDOR P-S
0197 006A 0000      NOP
0198 006B 1506      BSF PORTB,2    ;RETENER DATOS EN EL
0199                                     ;CONVERTIDOR P-S
0200 006C 1286      BCF PORTB,5    ;HABILITAR LECTURA
0201                                     ;SERIAL
0202 006D 1D86      OTRO_BIT    BTFSS PORTB,3
0203 006E 2878      GOTO ES_UN_CERO
0204 006F 1414      BSF ENTRADAS,0
0205 0070 0D94      ROTACION    RLF ENTRADAS,1
0206 0071 039A      DECF CONT,1
0207 0072 1206      BCF PORTB,4
0208 0073 1D03      BTFSS STATUS,2  ;SALTA SI CONT=0
0209 0074 2876      GOTO CLOCK
0210 0075 287A      GOTO SALIR_RX
0211 0076 1608      CLOCK      BSF PORTB,4
0212 0077 286D      GOTO OTRO_BIT
0213 0078 1014      ES_UN_CERO  BCF ENTRADAS,0
0214 0079 2870      GOTO ROTACION
0215 007A 0814      SALIR_RX    MOVF ENTRADAS,0
0216 007B 0093      MOV WF DATOS
0217 007C 0008      RETURN

0218      ;*  .....  *
0219      ;*  SUBROUTINA DE DESPLIEGUE DE DATOS  *
0220      ;*  .....  *

0221 007D 1991      DESPLIEGUE  BTFSC LEDS,3    ;SI RPM=0 SALTA
0222                                     ;LA SIG. INST.
0223 007E 28DB      GOTO APAGA
0224 007F 3000      MOV LW 00H      ;APAGA LOS PUNTOS
0225 0080 021C      SUBWF DIEZMIL,0 ;W=DIEZMIL-W
0226 0081 1D03      BTFSS STATUS,2  ;SI DM=0,SALTA
0227                                     ;LA SIG. INST.
0228 0082 28A4      GOTO UNION11   ;DM DIFERENTE A CERO
0229 0083 3000      MOV LW 00H      ;W=0
0230 0084 021D      SUBWF MILLARES,0 ;W=MILLARES-W
0231 0085 1D03      BTFSS STATUS,2  ;SI M=0, SALTA
0232                                     ;LA SIG. INST.
0233 0086 2896      GOTO PTO DER
0234 0087 1211      BCF LEDS,4      ;ENCIENDE EL BIT PTO.
0235                                     ;IZQ. DEL REGISTRO LEDS
0236 0088 0811      MOVF LEDS,0    ;W=LEDS
0237 0089 0093      MOV WF DATOS    ;DATOS=W
0238 008A 1686      BSF PORTB,5    ;HABILITA LA ESCRITURA
0239                                     ;SERIAL
0240 008B 2052      CALL TX_SERIE ;TRANSMITE EN FORMA
0241                                     ;SERIAL
0242 008C 1105      BCF PORTA,2    ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0243 008D 1185      BCF PORTA,3    ;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0244 008E 1205      BCF PORTA,4    ;LATCH DE "LEDS"
0245 008F 0000      NOP
0246 0090 0000      NOP
0247 0091 1505      BSF PORTA,2    ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0248 0092 1585      BSF PORTA,3    ;RETIENE LOS DATOS EN EL
0249 0093 1605      BSF PORTA,4    ;LATCH DE "LEDS"
0250 0094 1286      BCF PORTB,5    ;DESHABILITA ESCRITURA
0251                                     ;SERIAL
0252 0095 28EA      GOTO CENTE
0253 0096 1291      PTO DER     BCF LEDS,5      ;ENCIENDE EL BIT PTO.
0254                                     ;DER. DEL REGISTRO LEDS
0255 0097 0811      MOVF LEDS,0    ;W=LEDS

```

0256	0098	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0257	0099	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0258				;SERIAL
0259	009A	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0260				;SERIAL
0261	009B	1105	BCF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0262	009C	1185	BCF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0263	009D	1205	BCF PORTA,4	;LATCH DE "LEDS"
0264	009E	0000	NOP	
0265	009F	0000	NOP	
0266	00A0	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0267	00A1	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0268	00A2	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE "LEDS"
0269	00A3	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA ESCRITURA
0270				;SERIAL
0271	00A4	1211	UNION11	BCF LEDES,4
0272				;ENCIENDE LOS BITS DE
0273				;AMBOS PUNTOS PARA
0274	00A5	1291	BCF LEDES,5	;INDICAR FLUJO
0275	00A6	0811	MOVF LEDES,0	;MAYOR A 10 LPM
0276	00A7	0093	MOVWF DATOS	;W=LEDS
0277	00A8	1686	BSF PORTB,5	;DATOS=W
0278				;HABILITA LA ESCRITURA
0279	00A9	2052	CALL TX_SERIE	;SERIAL
0280				;TRANSMITE EN FORMA
0281	00AA	1105	BCF PORTA,2	;SERIAL
0282	00AB	1185	BCF PORTA,3	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0283	00AC	1205	BCF PORTA,4	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0284	00AD	0000	NOP	;LATCH DE "LEDS"
0285	00AE	0000	NOP	
0286	00AF	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0287	00B0	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0288	00B1	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE "LEDS"
0289	00B2	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA ESCRITURA
0290				;SERIAL
0291	00B3	081D	MOVF MILLARES,0	;W=MILLARES
0292	00B4	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0293	00B5	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0294				;SERIAL
0295	00B6	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0296				;SERIAL
0297	00B7	1105	BCF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0298	00B8	1585	BSF PORTA,3	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0299	00B9	1205	BCF PORTA,4	;LATCH DE DISP1
0300	00BA	0000	NOP	
0301	00BB	0000	NOP	
0302	00BC	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0303	00BD	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0304	00BE	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP1
0305	00BF	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA LA
0306				;ESCRITURA SERIAL
0307	00C0	081E	MOVF CENTENAS,0	;W=CENTENAS
0308	00C1	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0309	00C2	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0310				;SERIAL
0311	00C3	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0312				;SERIAL
0313	00C4	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0314	00C5	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0315	00C6	1205	BCF PORTA,4	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0316	00C7	0000	NOP	;LATCH DE DISP2
0317	00C8	0000	NOP	
0318	00C9	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0319	00CA	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0320	00CB	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP2
0321	00CC	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA LA
0322				;ESCRITURA SERIAL
0323	00CD	081F	MOVF DECENAS,0	;W=DECENAS
0324	00CE	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W

0325	00CF	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0326				;SERIAL
0327	0000	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0328				;SERIAL
0329	00D1	1105	BCF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0330	00D2	1185	BCF PORTA,3	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0331	00D3	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP3
0332	00D4	0000	NOP	
0333	00D5	0000	NOP	
0334	00D6	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0335	00D7	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0336	00D8	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP3
0337	00D9	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA LA
0338				;ESCRITURA SERIAL
0339	00DA	2911	GOTO SALIR_DESP	
0340	00DB	1611	BSF LEDS,4	;APAGA EL BIT DEL
0341		APAGA		;PTO.IZQ.
0342	00DC	1691	BSF LEDS,5	;APAGA EL BIT DEL
0343				;PTO.DER.
0344	00DD	0811	MOVF LEDS,0	;W=LEDS
0345	00DE	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0346	00DF	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0347				;SERIAL
0348	00E0	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0349				;SERIAL
0350	00E1	1105	BCF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0351	00E2	1185	BCF PORTA,3	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0352	00E3	1205	BCF PORTA,4	;LATCH DE "LEDS"
0353	00E4	0000	NOP	
0354	00E5	0000	NOP	
0355	00E6	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0356	00E7	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0357	00E8	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE "LEDS"
0358	00E9	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA ESCRITURA
0359				;SERIAL
0360	00EA	081E	MOVF CENTENAS,0	;W=CENTENAS
0361	00EB	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0362	00EC	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0363				;SERIAL
0364	00ED	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0365				;SERIAL
0366	00EE	1105	BCF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0367	00EF	1585	BSF PORTA,3	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0368	00F0	1205	BCF PORTA,4	;LATCH DE DISP1
0369	00F1	0000	NOP	
0370	00F2	0000	NOP	
0371	00F3	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0372	00F4	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0373	00F5	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP1
0374	00F6	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA LA
0375				;ESCRITURA SERIAL
0376	00F7	081F	MOVF DECENAS,0	;W=DECENAS
0377	00F8	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W
0378	00F9	1686	BSF PORTB,5	;HABILITA LA ESCRITURA
0379				;SERIAL
0380	00FA	2052	CALL TX_SERIE	;TRANSMITE EN FORMA
0381				;SERIAL
0382	00FB	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0383	00FC	1585	BSF PORTA,3	;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0384	00FD	1205	BCF PORTA,4	;LATCH DE DISP2
0385	00FE	0000	NOP	
0386	00FF	0000	NOP	
0387	0100	1505	BSF PORTA,2	;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0388	0101	1585	BSF PORTA,3	;RETIENE LOS DATOS EN EL
0389	0102	1605	BSF PORTA,4	;LATCH DE DISP2
0390	0103	1286	BCF PORTB,5	;DESHABILITA LA
0391				;ESCRITURA SERIAL
0392	0104	0820	MOVF UNIDADES,0	;W=UNIDADES
0393	0105	0093	MOVWF DATOS	;DATOS=W

```

0394 0108 1686          BSF PORTB,5          ;HABILITA LA ESCRITURA
0395                               ;SERIAL
0396 0107 2052          CALL TX_SERIE        ;TRANSMITE EN FORMA
0397                               ;SERIAL
0398 0108 1105          BCF PORTA,2          ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0399 0109 1185          BCF PORTA,3          ;CAPTURA LOS DATOS EN EL
0400 010A 1605          BSF PORTA,4          ;LATCH DE DISP3
0401 010B 0000          NOP
0402 010C 0000          NOP
0403 010D 1505          BSF PORTA,2          ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0404 010E 1585          BSF PORTA,3          ;RETIENE LOS DATOS EN EL
0405 010F 1605          BSF PORTA,4          ;LATCH DE DISP3
0406 0110 1286          BCF PORTB,5          ;DESHABILITA LA
0407                               ;ESCRITURA SERIAL
0408 0111 0008 SALIR_DESP RETURN          ;SALIR DE LA RUTINA DE
0409                               ;DESPLIEGUE DE DATOS

0410          ;.....
0411          ;*          RUTINA DE INTERRUPCIONES          *
0412          ;.....

0413 0112 138B INTERRUP BCF INTCON,7          ;DESHABILITAR
0414                               ;INTERRUPCIONES
0415 0113 1706          BSF PORTB,6          ;HABILITO SALIDAS DEL
0416                               ;LATCH ENT.
0417 0114 0000          NOP
0418 0115 1106          BCF PORTB,2          ;CAPTURO DATOS EN EL P/S
0419 0116 0000          NOP
0420 0117 1506          BSF PORTB,2          ;RETENGO DATOS EN EL P/S
0421 0118 1286          BCF PORTB,5          ;LA LINEA DE DATOS
0422                               ;PARA RX
0423 0119 1586          BSF TRISB,3          ;RB3=ENTRADA
0424 011A 2066          CALL RSERIE          ;RECIBE EN FORMA SERIAL
0425 011B 0813          MOVF DATOS,0         ;W=DATOS
0426 011C 0094          MOWWF ENTRADAS       ;ENTRADAS=W=DATOS
0427 011D 1C05          BTFSS PORTA,0        ;PARO=1, SALTA LA
0428                               ;SIG. INST.
0429 011E 292E          GOTO RETRASO         ;REVISAS LAS OTRAS
0430                               ;ENT. DE INT.
0431 011F 1491          BSF LEDES,1          ;ENCIENDE BIT DE PARO
0432 0120 1011          BCF LEDES,0          ;APAGA BIT DE ARRANQUE
0433 0121 0811 UNION_D  MOVF LEDES,0         ;W=LEDES
0434 0122 0093          MOWWF DATOS          ;DATOS=W
0435 0123 1686          BSF PORTB,5          ;LA LINEA DE DATOS
0436                               ;PARA TX
0437 0124 1186          BCF TRISB,3          ;RB3=SALIDA
0438 0125 2052 UNION_B  CALL TX_SERIE        ;TRANSMITE EN FORMA
0439                               ;SERIAL
0440 0126 1105          BCF PORTA,2          ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0441                               ;SE ESTA ACTIVANDO LA
0442 0127 1185          BCF PORTA,3          ;SALIDA YO DEL DEMUX
0443 0128 1205          BCF PORTA,4          ;CAPTURO DATOS EN EL
0444                               ;LATCH LEDES)
0445 0129 0000          NOP
0446 012A 1505          BSF PORTA,2          ;CON ESTAS INSTRUCCIONES
0447                               ;SE ESTA ACTIVANDO LA
0448 012B 1585          BSF PORTA,3          ;SALIDA Y7 DEL DEMUX
0449 012C 1605          BSF PORTA,4          ;RETENGO DATOS EN EL
0450                               ;LATCH LEDES)
0451 012D 2962          GOTO HABILITA_INT
0452 012E 2188 RETRASO  CALL DECIMAS          ;ESPERA 3 DECIMAS
0453 012F 2188          CALL DECIMAS          ;ESPERA 3 DECIMAS
0454 0130 2188          CALL DECIMAS          ;ESPERA 3 DECIMAS
0455 0131 1E14 ARRANQUE BTFSS ENTRADAS,4    ;SI START=1,SALTA
0456                               ;LA SIG. INST.
0457 0132 293A          GOTO FUE_RPM_LPM
0458 0133 3000          MOVLW 00H           ;W=00H
0459 0134 0212          SUBWF VELOCIDAD,0    ;W=VELOCIDAD-W
0460 0135 1D03          BTFSS STATUS,2      ;SALTA LA SIG. INST.

```

```

0461                                     ;SI VEL=0
0462 0138 2931          GOTO ARRANQUE
0463 0137 1411          BSF LEDS,0          ;ENCIENDE BIT DE
0464                                     ;ARRANQUE
0465 0138 1091          BCF LEDS,1          ;APAGA BIT DE PARO
0466 0139 2921          GOTO UNION_D
0467 013A 1F14  FUE_RPM_LPM  BTFSS ENTRADAS,6  ;SI RPM/LPM=1,SALTA
0468                                     ;LA SIG. INST.
0469 013B 2947          GOTO FUE_DIAMETRO
0470 013C 1D91          BTFSS LEDS,3          ;SI RPM=1,SALTA LA
0471                                     ;SIG. INST.
0472 013D 2942          GOTO LPM_OFF
0473 013E 1191          BCF LEDS,3          ;APAGA BIT DE RPM
0474 013F 1511          BSF LEDS,2          ;ENCIENDE BIT DE LPM
0475 0140 202A          CALL REVISAR_D
0476 0141 2921          GOTO UNION_D
0477 0142 1111  LPM_OFF    BCF LEDS,2          ;APAGA BIT DE LPM
0478 0143 1591          BSF LEDS,3          ;ENCIENDE BIT DE RPM
0479 0144 3001          MOVLW 01H          ;W=01H
0480 0145 0095          MOVWF FACTOR          ;FACTOR=W=01H
0481 0146 2921          GOTO UNION_D
0482 0147 1E94  FUE_DIAMETRO BTFSS ENTRADAS,5  ;SI DIAMETRO=1,SALTA LA SIG.INST
0483 0148 294E          GOTO FUE_GIROH
0484 0149 0D90          RLF DIAMETRO,1      ;ROTAR A LA IZQ. EL REG.DIAMETRO
0485 014A 202A          CALL REVISAR_D
0486 0148 0810          MOVF DIAMETRO,0    ;W=DIAMETRO
0487 014C 0093          MOVWF DATOS          ;DATOS=W=DIAMETRO
0488 014D 2925          GOTO UNION_B
0489 014E 1C14  FUE_GIROH    BTFSS ENTRADAS,0  ;SI GIROH=1,SALTA LA SIG.INST
0490 014F 2958          GOTO FUE_GIROAH
0491 0150 1C91          BTFSS LEDS,1      ;SI PARO=1,SALTA SIG.INST
0492 0151 2962          GOTO HABILITA_INT
0493 0152 3000          MOVLW 00H          ;W=0
0494 0153 0212          SUBWF VELOCIDAD,0 ;W=VELOCIDAD-W
0495 0154 1D03          BTFSS STATUS,2    ;SI VEL=0,SALTA LA SIG.INST.
0496 0155 2962          GOTO HABILITA_INT
0497 0158 1391          BCF LEDS,7          ;APAGA BIT DE GIRO
0498 0157 2921          GOTO UNION_D
0499 0158 1D14  FUE_GIROAH    BTFSS ENTRADAS,2  ;SI GIROAH=1,SALTA LA SIG.INST
0500 0159 2962          GOTO HABILITA_INT
0501 015A 1C91          BTFSS LEDS,1      ;SI PARO=1,SALTA LA SIG.INST
0502 0158 2962          GOTO HABILITA_INT
0503 015C 3000          MOVLW 00H          ;W=0
0504 015D 0212          SUBWF VELOCIDAD,0 ;W=VELOCIDAD-W
0505 015E 1D03          BTFSS STATUS,2    ;SI VEL=0, SALTA LA SIG.INST.
0506 015F 2962          GOTO HABILITA_INT
0507 0160 1791          BSF LEDS,7          ;ENCIENDE BIT DE GIRO
0508 0161 2921          GOTO UNION_D
0509 0162 108B  HABILITA_INT BCF INTCON,1      ;BORRA LA BANDERA DE INT.EXT.
0510 0163 1808          BSF INTCON,4      ;HABILITA LA INT. EXT.
0511 0164 0008          RETURN

0512 .....
0513 ;* RUTINA DE CONVERSION HEXADECIMAL A DECIMAL *
0514 .....

0515 0165 0819  HEX_DEC    MOVF CARRY,0
0516 0166 00A1          MOVWF DATOH
0517 0167 0818          MOVF SUMA,0
0518 0168 00A2          MOVWF DATOL
0519 0169 3000          MOVLW 00H
0520 016A 009A          MOVWF CONT          ; HACEMOS CONT = 0
0521 0168 3010  EPITE      MOVLW 10H          ; 10H DML
0522 016C 0222          SUBWF DATOL,0
0523 016D 00A3          MOVWF DATOLT
0524 016E 1C03          BTFSS STATUS,0    ;SALTA SI FUE POSITIVO
0525 016F 297C          GOTO UNION_1
0526 0170 3027  UNION_3    MOVLW 27H          ; 27H DMH
0527 0171 0221          SUBWF DATOH,0

```

0528	0172	00A4		MOVWF DATOHT	
0529	0173	1C03		BTFSS STATUS,0	; SALTA SI FUE POSITIVO
0530	0174	297E		GOTO UNION_2	
0531	0175	0823		MOVF DATOLT,0	
0532	0176	00A2		MOVWF DATOL	
0533	0177	0824		MOVF DATOHT,0	
0534	0178	00A1		MOVWF DATOH	
0535	0179	0A1A		INCF CONT,0	
0536	017A	009C		MOVWF DIEZMIL	
0537	017B	298B		GOTO REPITE	
0538	017C	03A4	UNION_1	DECF DATOHT,1	
0539	017D	2970		GOTO UNION_3	
0540	017E	3000	UNION_2	MOVLW 00H	
0541	017F	009A		MOVWF CONT	
0542	0180	30E8	UNION_21	MOVLW 00E8H	
0543	0181	0222		SUBWF DATOL,0	
0544	0182	00A3		MOVWF DATOLT	
0545	0183	1C03		BTFSS STATUS,0	; SALTA SI FUE POSITIVO
0546	0184	2985		GOTO UNION_4	
0547	0185	3027	UNION_69	MOVLW 27H	
0548	0186	0221		SUBWF DATOH,0	
0549	0187	00A4		MOVWF DATOHT	
0550	0188	1C03		BTFSS STATUS,0	; SALTA SI FUE POSITIVO
0551	0189	2981		GOTO ALGO	
0552	018A	0824		MOVF DATOHT,0	
0553	018B	00A1		MOVWF DATOH	
0554	018C	0823		MOVF DATOLT,0	
0555	018D	00A2		MOVWF DATOL	
0556	018E	0A1A		INCF CONT,0	
0557	018F	009D		MOVWF MILLARES	
0558	0190	2980		GOTO UNION_21	
0559	0191	3000	ALGO	MOVLW 00H	
0560	0192	009A		MOVWF CONT	
0561	0193	3084	UNION_5	MOVLW 64H	
0562	0194	0222		SUBWF DATOL,0	
0563	0195	00A3		MOVWF DATOLT	
0564	0196	1C03		BTFSS STATUS,0	; SALTA SI FUE POSITIVO
0565	0197	29A4		GOTO UNION_6	
0566	0198	3000	UNION_61	MOVLW 00H	; CENTENAS H
0567	0199	0221		SUBWF DATOH,0	
0568	019A	00A4		MOVWF DATOHT	
0569	019B	1C03		BTFSS STATUS,0	; SALTA SI FUE POSITIVO
0570	019C	29A6		GOTO UNION_7	
0571	019D	0824		MOVF DATOHT,0	
0572	019E	00A1		MOVWF DATOH	
0573	019F	0823		MOVF DATOLT,0	
0574	01A0	00A2		MOVWF DATOL	
0575	01A1	0A1A		INCF CONT,0	
0576	01A2	009E		MOVWF CENTENAS	
0577	01A3	2993		GOTO UNION_5	
0578	01A4	03A4	UNION_6	DECF DATOHT,1	
0579	01A5	2998		GOTO UNION_61	
0580	01A6	3000	UNION_7	MOVLW 00H	
0581	01A7	009A		MOVWF CONT	
0582	01A8	300A	UNION_8	MOVLW 000AH	
0583	01A9	0222		SUBWF DATOL,0	
0584	01AA	00A3		MOVWF DATOLT	
0585	01AB	1C03		BTFSS STATUS,0	;SALTA SI FUE POSITIVO
0586	01AC	2982		GOTO UNION_9	
0587	01AD	0823		MOVF DATOLT,0	
0588	01AE	00A2		MOVWF DATOL	
0589	01AF	0A1A		INCF CONT,0	
0590	01B0	009F		MOVWF DECENAS	
0591	01B1	29A8		GOTO UNION_8	
0592	01B2	0822	UNION_9	MOVF DATOL,0	
0593	01B3	00A0		MOVWF UNIDADES	
0594	01B4	29B7		GOTO FINCONVER	
0595	01B5	03A4	UNION_4	DECF DATOHT,1	
0596	01B6	2985		GOTO UNION_69	

```

0597 01B7 0008 FINCONVER RETURN
0598 ;@@@@@@@@@@@@@@@@@ RETARDO 3 DECIMAS @@@@@@@@@@@@@@@@@@
0599 0188 1683 DECIMAS BSF STATUS,5 ;CAMBIAR PAG 1
0600 0189 218B OTRO CALL TIME ;VE A RUTINA DE RETARDO
0601 018A 29C8 GOTO FUERA
0602 018B 3061 TIME MOVLW 61H ; RUTINA DE TIEMPO
0603 01BC 00A5 MOVWF COUNT3
0604 01BD 3002 LOOP2 MOVLW 02H ;AQUI
0605 01BE 00A6 MOVWF COUNT2 ;TIMES TO REPEAT
0606 01BF 01A7 CLRWF HOLA1 ;CLEAR HOLA1 TO BEGIN
0607 01C0 1103 BCF STATUS,2
0608 01C1 0FA7 LOOP INCFSZ HOLA1 ;REPEAT THIS LOOP
0609 01C2 29C1 GOTO LOOP ;256 TIMES
0610 01C3 0BA6 DECFSZ COUNT2 ;DECREMENT TIMES TO REPEAT
0611 01C4 29C1 GOTO LOOP
0612 01C5 0BA5 DECFSZ COUNT3
0613 01C6 29BD GOTO LOOP2
0614 01C7 0008 RETURN
0615 01C8 0008 FUERA RETURN
0616 0000 END

```

Con este listado se termina con la propuesta de la bomba de rodillos, por lo que en el siguiente capítulo iniciaremos con el *AEPS*, *Blender*, Oxigenador y Reservorio.

AEPS, BLENDER, OXIGENADOR y RESERVORIO

En este capítulo se llevará a cabo el diseño del sistema de protección contra embolias *AEPS*; así como, la descripción y presentación del *Blender* y de los componentes denominados desechables como lo son: el Oxigenador y el Reservorio.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EMBOLIAS (AEPS)

El sistema de protección contra embolias es la parte del sistema de perfusión que tiene a su cargo la seguridad del paciente, se encuentra constantemente vigilando el nivel de sangre en el reservorio para evitar que éste se vacíe, lo cual, en caso de ser así, ocasionaría serios problemas por múltiples burbujas en la tubería; así mismo, el sistema monitorea el flujo de sangre que pasa por la tubería de retorno al paciente para detectar posibles burbujas de aire en la línea.

Al detectarse una alarma el sistema envía una señal de paro hacia la bomba arterial y emite señales de alerta audibles y visibles al usuario; este sistema cuenta con una *interface* con el usuario para permitir que se puedan anular las alarmas.

De lo anterior podemos inferir que el sistema de protección contra embolias, en general, debe contar con los siguientes bloques:

1. Entradas.
2. Transductores.
3. Adecuación de señales.
4. Procesamiento.
5. Alarmas visibles.
6. Alarma audible.

A continuación se hará una descripción de la función desempeñada por cada uno de ellos.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EMBOLIAS (AEPS)

Entradas (1): Las señales de entrada van a ser: anulación del detector de burbuja, anulación del detector de nivel y anulación de la alarma audible, las cuales son enviadas al bloque de procesamiento. La función de estas señales es la siguiente: cuando se decide anular alguno de los detectores, la señal proveniente de éste ya no tendrá efecto sobre la señal de paro hacia la bomba, sin embargo se tendrá presente una alerta visible para el usuario, así como una señal audible, la cual podrá ser anulada si se desea, activando la señal correspondiente.

Transductores (2): Este bloque estará constituido por dos elementos que detectarán alguna discontinuidad, ya sea en el flujo de la tubería (burbuja) o en el

reservorio (nivel bajo), mostrando una alteración en la salida normal, la cual será enviada al bloque de adecuación de señales.

Adecuación de señales (3): En este bloque se tratarán las señales provenientes de los detectores con la finalidad de entregar niveles lógicos ("1" ó "0") a voltajes adecuados para el bloque de procesamiento de señales.

Procesamiento de señales (4): En este bloque se procesarán las señales provenientes tanto del bloque de entradas (anulación de nivel, anulación de burbuja y anulación de sonido) como las del bloque de adecuación de señales (burbuja detectada y nivel bajo), y se enviarán las señales que correspondan hacia el bloque de alarmas visibles, la alarma audible y la señal de paro hacia la bomba.

Alarmas visibles (5): Este bloque constará básicamente de elementos indicadores luminosos (*leds*) que mostrarán si se ha detectado alguna irregularidad y si las alarmas están o no anuladas. Estas señales se generarán en el bloque de procesamiento.

Alarma audible (6): En este bloque se tendrá un dispositivo que emitirá un sonido siempre que la señal de alarma audible esté activa, la cual provendrá del bloque de procesamiento; la señal de alarma audible estará activa siempre que alguno de los transductores detecte alguna irregularidad y que la señal de anulación de alarma audible esté apagada.

La interacción de estos bloques puede apreciarse en la figura 5.1.

En el siguiente apartado se enuncian las características que deberá tener el equipo, así como la forma de selección de los transductores de nivel y burbuja.

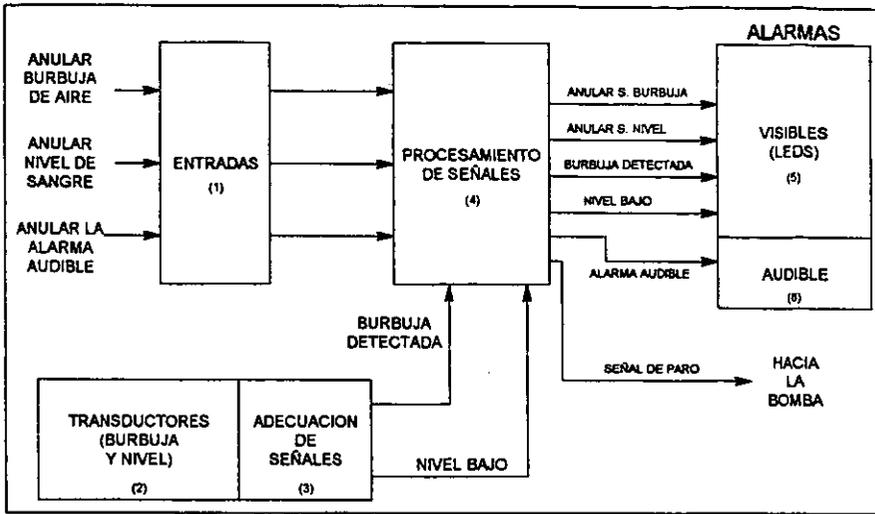


Figura 5.1. Diagrama a bloques del AEPS.

5.3 CARACTERÍSTICAS DEL AEPS

El sistema de protección contra embolias utilizará transductores para la detección de burbujas de aire y la verificación del nivel de la sangre en el reservorio. Estos transductores se elegirán de forma que sean confiables, económicos y de fácil adquisición en el mercado nacional. La anulación de las alarmas se hará por medio de botones ubicados en un tablero de control que se localizará en la parte frontal del equipo. Este cambio de activación o anulación será alternado y deberá hacerse con la sola pulsación del botón sin la necesidad de mantenerlo presionado. La señal de paro se enviará a la bomba por medio de un cable que se conectará desde la parte trasera del AEPS hacia la parte trasera de la bomba asignada como arterial.

5.4 SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES DE BURBUJA Y NIVEL BAJO

Existen varios métodos para detectar irregularidades (burbujas) en el flujo de una tubería, así como también para detectar el nivel de un fluido en un recipiente. A continuación se describen tres de estos métodos.

Método ultrasónico: Este método consiste básicamente de un transmisor ultrasónico, el medio de transmisión y un receptor ultrasónico. Los dispositivos de uso más común para transmisores y receptores ultrasónicos son de tipo piezoeléctrico, debido a que el efecto piezoeléctrico es reversible; es decir, la energía mecánica puede convertirse en energía eléctrica y viceversa, logrando con ésto que con un solo transductor tengamos el transmisor y el receptor. El principio de funcionamiento de este método se basa en transmitir una señal ultrasónica a través del medio a monitorear y comparar la magnitud de la señal reflejada con un cierto valor, la cual ha sufrido una atenuación con respecto a la señal transmitida, dicha disminución depende del coeficiente de atenuación del medio por el cual se propagó. Un sistema típico sería el mostrado en la figura 5.2.

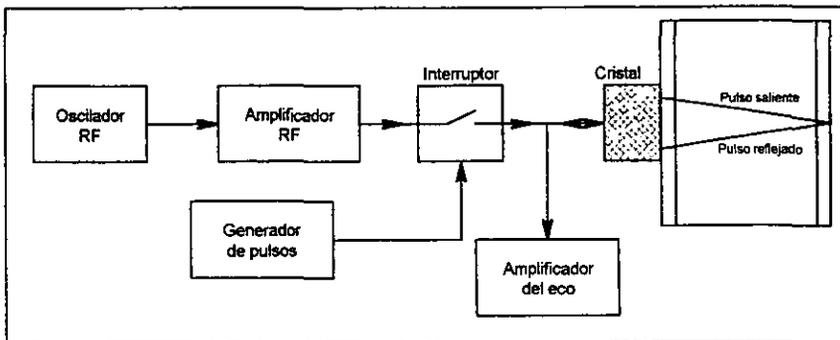


Figura 5.2. Sistema típico para detección utilizando transductor ultrasónico.

Comercialmente encontramos varias marcas y modelos de transductores ultrasónicos como las siguientes: COBE, TURK, ATC y BALLUFF; el costo de este tipo de transductores es elevado (alrededor de \$16,000 pesos).

Método infrarrojo: Este método al igual que el anterior se basa en la comparación de la magnitud de la señal recibida, la cual ha sido atenuada con respecto a la señal transmitida y dicha atenuación depende del coeficiente de reflexión del medio. El transmisor es un *led* infrarrojo y el receptor es un fototransistor.

Comercialmente se encontraron varias marcas y modelos de este tipo de transductores como las siguientes: SARNNS, TURCK, OMRON y Telemecanique; el costo de estos transductores se encuentra alrededor de \$4,000 pesos.

Método capacitivo: El principio de funcionamiento está basado en el cambio de capacitancia entre dos electrodos al introducir materiales con diferente valor de constante dieléctrica dentro del campo eléctrico generado por dos placas, como se observa en la figura 5.3. Aprovechando que la constante dieléctrica de todas las sustancias sólidas y líquidas es más grande que la del aire, la cual se considera la unidad ($\epsilon_{\text{aire}} = 1$), cuando el transductor detecta la presencia dentro del campo eléctrico un material diferente al aire el valor de capacitancia aumenta.

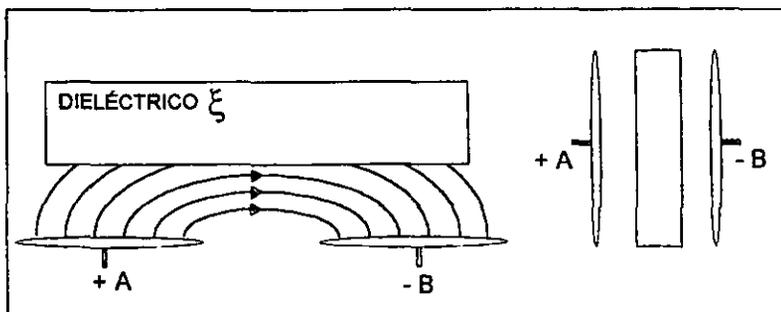


Figura 5.3. Diagrama de funcionamiento del transductor capacitivo.

En el mercado se encontraron varios fabricantes como son los siguientes: TURCK, BALLUFF, Telemecanique, OMRON. Cada fabricante cuenta con varios modelos, con características distintas, como pueden ser: el tipo de alimentación, el tipo de salida entregada por el transductor, la distancia de alcance. El costo de este dispositivo es de aproximadamente \$2,500 pesos.

Para nuestro caso muy en particular, se decidió utilizar el método de detección capacitivo, por su costo menor y características de la señal entregada por el transductor que nos simplifica la adecuación de la señal para poder utilizarla en el módulo de procesamiento de datos. A continuación se hará una descripción de las características y conformación interna del transductor seleccionado.

5.5 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSDUCTOR SELECCIONADO

Los transductores seleccionados son de la marca TURCK, para la detección de burbuja el modelo BC20-K40SR-VP4X2 y para la detección del nivel de sangre en el reservorio el BC10-M30-VP4X. El principio de funcionamiento de estos transductores es el siguiente. Las caras de los electrodos A y B forman un acoplamiento reactivo con un oscilador de alta frecuencia, regulado de tal forma que no provoca interferencias en caso de cara activa libre (no detección). Si un objeto se aproxima a la cara activa del detector, es decir, se introduce en el campo eléctrico de los electrodos, provoca un aumento del acoplamiento capacitivo entre las placas y el oscilador empieza entonces a oscilar. Un amplificador aplica un factor de ganancia adecuado y a continuación la amplitud de esta oscilación se le transforma en señal de conmutación definida, la conformación interna del transductor a manera de bloques se muestra en la figura 5.4.

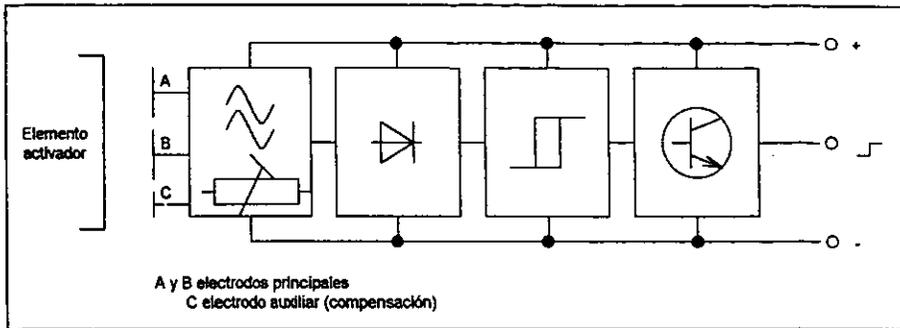


Figura 5.4. Conformación interna del transductor capacitivo.

Este tipo de transductor posee un blindaje incorporado de tal forma que los campos eléctricos son activos únicamente delante de las caras activas. La influencia del montaje blindado en la distancia de detección es débil y se puede corregir con el potenciómetro de 20 vueltas para el ajuste de la distancia de detección.

La salida que proporcionan estos transductores es una conmutación del nivel de voltaje al detectar presencia de algún material con una constante dieléctrica mayor a la del aire; para la sangre la constante dieléctrica es mayor, por el contenido de partículas de hierro, con lo que se asegura la conmutación del transductor. Cuenta con una salida normalmente abierta y otra normalmente cerrada, con lo que se puede seleccionar qué nivel de voltaje (alto o bajo) se quiere cuando se detecte sangre ya sea en la manguera o en reservorio.

Para nuestro caso obtendremos un nivel de voltaje bajo cuando se detecte aire y un nivel alto cuando se detecte sangre.

5.6 TABLERO DE CONTROL DEL AEPS

En la figura 5.5, se muestra el tablero de control del AEPS, en el cual se puede observar que cuenta con dos cuadros principales: el cuadro de opciones, en

cuenta el *AEPS*; y el cuadro de alarmas, en el cual están colocados los *leds* que indican la activación de algunas de las alarmas. A continuación se realizará una descripción más detallada de los componentes del tablero.

Cuadro de opciones. Cuenta con botones tipo *push-button* para la activación o desactivación de las alarmas y *leds* que nos indican la anulación de las alarmas.

Anular burbuja de aire. Presionando el botón correspondiente cambia de un estado al otro, si el *led* se encuentra encendido indica que la alarma de detección de burbuja se encuentra anulada.

Anular nivel de sangre. Cuando el *led* está encendido, la alarma de detección de nivel estará anulada, si se desea activar la alarma se tiene que presionar el botón.

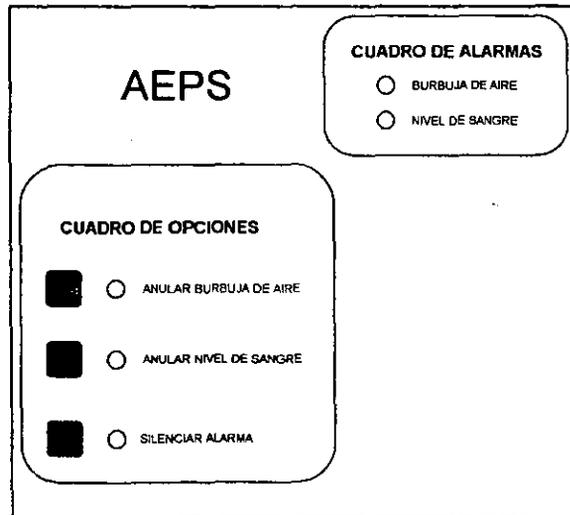


Figura 5.5. Tablero de control del *AEPS*.

Silenciar alarma. Cuando se presiona el botón y el *led* se enciende la alarma audible se encuentra desactiva.

Cuadro de alarmas. En este cuadro se encuentran los indicadores visuales de detección de burbuja y nivel bajo de sangre en el reservorio.

Burbuja de aire. Este *led* se enciende cuando el transductor correspondiente envía la señal de que ha sido detectada una burbuja de aire.

Nivel de sangre. El *led* se enciende al ocurrir un nivel bajo de sangre en el reservorio.

5.7 DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DEL AEPS

Para la etapa de entrada se utilizará un circuito como el mostrado en la figura 5.6, en donde se observa un *flip-flop* que es capaz de mantener un estado binario en forma indefinida (siempre y cuando se le esté suministrando potencia), con esto logramos que la salida de la etapa de entrada cambie de estado al pulsar el botón, sin la necesidad de mantenerlo presionado para anular la alarma. Cada vez que se pulse al botón la salida cambiará de anulación a activación de alarma o viceversa, según sea el caso.

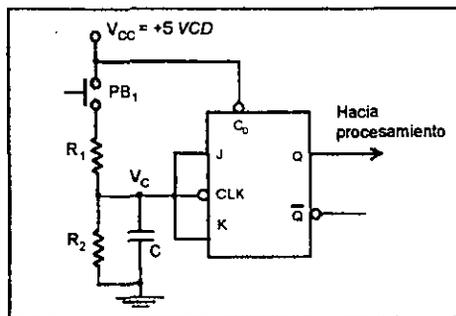


Figura 5.6. Diagrama eléctrico de la etapa de entrada.

Las resistencias R_1 , R_2 y el capacitor C se utilizarán para implementar un filtro paso-bajas con la finalidad de eliminar las falsas señales de entrada causadas por los rebotes que se generan al dejar de presionar el *push button* PB_1 . Del circuito anterior se observa que al cerrar el interruptor PB_1 :

$$V_c = \frac{V_{cc} * R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec. 5.1.})$$

De donde:

$$R_2 = \frac{V_c * R_1}{V_{cc} - V_c} \quad (\text{Ec. 5.2.})$$

De la teoría de filtros RC paso-bajas se tienen las siguientes ecuaciones para la frecuencia de corte f_{hc} , y la constante de tiempo τ :

$$f_{hc} = \frac{1}{2 * \pi * R_{eq} * C} \quad (\text{Ec. 5.3.})$$

$$\tau = R_{eq} * C \quad (\text{Ec. 5.4.})$$

Para el análisis en CA del circuito anterior se supondrá que $V_{cc} = 0$ VCD, con lo que:

$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec. 5.5.})$$

De los datos del fabricante del *push button* se tiene que el rebote tarda un máximo de 5 ms en desaparecer, por lo que la mínima frecuencia de dichos rebotes será de:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.005} = 200 \text{ Hz}$$

Para poder calcular los valores de R_1 y R_2 se fijarán los valores de $V_c = 4$ VCD, $f_{hc} = 10$ Hz y un valor comercial para $C = 22 \mu F$. De la ecuación 5.3 tenemos:

$$R_{eq} = \frac{1}{2 * \pi * f_{hc} * C} = \frac{1}{2 * \pi * (10 \text{ Hz}) * (22 \mu F)} \approx 723 \Omega$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.2 se tiene:

$$R_2 = \frac{V_c * R_1}{V_{cc} - V_c} = \frac{4 R_1}{5 - 4} = 4 R_1 \quad (\text{Ec. 5.6.})$$

Sustituyendo la ecuación 5.6 en la ecuación 5.5 tenemos:

$$R_{eq} = \frac{R_1 * (4 * R_1)}{R_1 + (4 * R_1)} = R_1 * \left(\frac{4}{5}\right)$$

Despejando R_1 :

$$R_1 = R_{eq} * \left(\frac{5}{4}\right) \quad (\text{Ec. 5.7.})$$

Sustituyendo el valor de R_{eq} en la ecuación 5.7 obtenemos:

$$R_1 = (723 \Omega) * \left(\frac{5}{4}\right) \approx 904 \Omega$$

Sustituyendo R_1 en la ecuación 5.6 obtenemos:

$$R_2 = 4 * (904 \Omega) \approx 3.61 \text{ k}\Omega$$

De acuerdo a estos valores calculados, podemos ajustar los mismos a los valores disponibles en el mercado. De ahí que podamos elegir para $R_1 = 820 \Omega$ y para $R_2 = 3.9 \text{ k}\Omega$. Para cálculo de la potencia de las resistencias R_1 y R_2 , se calculará la corriente a través de ellas como sigue:

$$I = \frac{V_{CC} - V_C}{R_2} = \frac{5 - 4}{820} = 1.219 \text{ mA}$$

$$P_{R_1} = I^2 * R_1 = (0.001219)^2 * 820 = 1.21 \text{ mW} \quad (\text{Ec. 5.8.})$$

$$P_{R_2} = I^2 * R_2 = (0.001219)^2 * 3,900 = 5.795 \text{ mW}$$

Con lo que finalmente se tiene que la resistencia R_1 será de $820 \Omega \pm 5\%$ y R_2 de $3.9 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ a $1/4$ de Watt.

Un *flip-flop* tiene dos estados útiles: cuando sus salidas $Q=1$ y $Q'=0$, se dice que está en el estado de ajuste o estado 1; cuando $Q=0$ y $Q'=1$, entonces está en el estado despejado o estado 0. En un *flip-flop* JK, la entrada J es para ajustar y la entrada K es para despejar, como se observa en la tabla de figura 5.7.

También se puede apreciar que si ambas entradas están en 1, la salida del *flip-flop* se complementa.

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Figura 5.7. Tabla de excitación del *flip-flop* JK.

El *flip-flop* 74LS73A cumple con lo descrito en los párrafos anteriores y su funcionamiento es el siguiente, cuando el reloj esté en alto, lee las entradas J y K, para que de acuerdo a la tabla de excitación de la figura anterior, modifique las salidas en la transición de nivel alto a nivel bajo. Para lograr el cambio de estado en la salida, se conectarán a un mismo nodo las entradas de reloj (*CP*), J y K para que al momento de soltar el botón se realice el cambio. También cuenta con una entrada de *reset* (*C_D*) que se activa en nivel bajo, la cual conectaremos a *V_{cc}*.

Para la entradas del *flip-flop* observamos que si el interruptor se encuentra abierto, tenemos un nivel bajo de voltaje. Al momento de cerrar el *switch* circulará a través de las resistencias una corriente, estableciéndose un nivel alto en las entradas del *flip-flop*.

Para el bloque de procesamiento de señales se diseñó el circuito mostrado en la figura 5.8.

Cuando el nivel entregado por la etapa de entrada sea 1, en alguna de las salidas (burbuja, nivel), el bloque de procesamiento indicará por medio de un *led* la anulación de alarma correspondiente. De igual manera las señales provenientes de los transductores pasarán por un inversor, para encender el *led* cuando se tenga como dieléctrico aire.

Para la detección de burbuja de aire, la señal del botón PB de anular burbuja y del detector de burbuja están conectadas a una compuerta *AND*. Como la salida de la compuerta es 1 sólo cuando ambas entradas son 1 y ésto sólo sucederá cuando la anulación de la burbuja esté desactivada y el transductor detecte burbuja, de ahí la inclusión de los inversores. Para la detección del nivel de sangre en el reservorio es el mismo circuito.

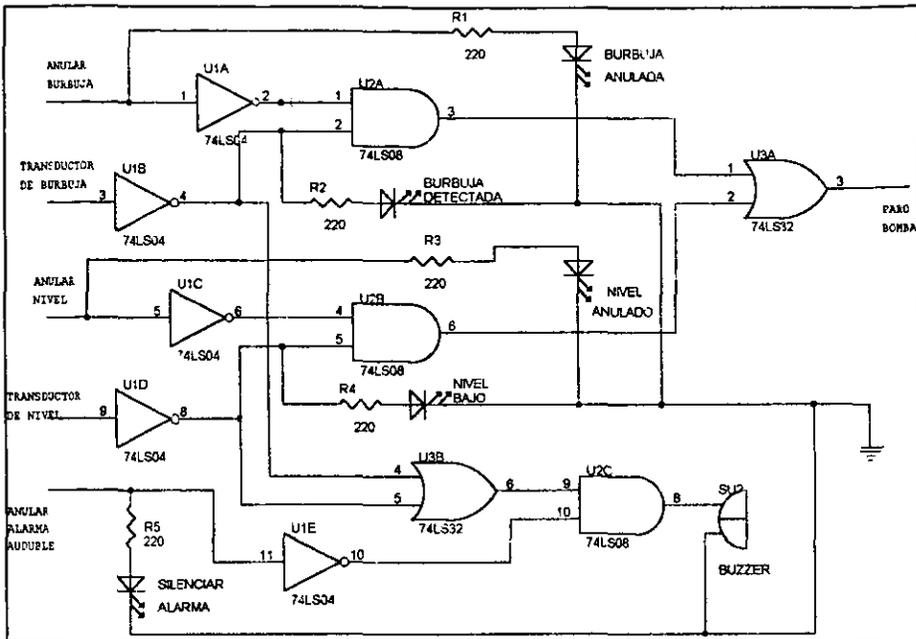


Figura 5.8. Diagrama eléctrico de la etapa de procesamiento.

Las resistencias del *led* están calculadas para un valor de corriente de 20 mA, que corresponde a la corriente nominal del *led* utilizado, mediante la siguiente ecuación, donde la caída de voltaje en el *led* es de 1.5 VCD:

$$R = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{NOM}} = \frac{5 - 1.5}{20 \text{ mA}} = 175 \Omega \quad (\text{Ec. 5.9.})$$

La señal de paro-bomba tendrá un nivel lógico 1, cuando cualquiera de las salidas de la compuertas AND correspondientes a la detección de burbuja y de nivel esté en nivel lógico 1, por lo que ambas salidas estarán conectadas a una compuerta OR para poder obtener la señal de paro-bomba.

Para la alarma audible se tomarán las señales provenientes de los transductores, y ambas van a una compuerta OR para tener un nivel lógico 1, a la

salida cuando alguno de los transductores haya detectado alguna irregularidad, la salida de esta compuerta se conecta a una compuerta *AND* junto con la señal del botón de silenciar alarma audible. La salida de esta compuerta se conecta a un *buzzer* piezoeléctrico.

5.8 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación proporcionará *+5VCD* a los circuitos integrados de lógica *TTL* y *+12 VCD* a los transductores capacitivos. En la figura 5.9 se muestra una tabla donde se pueden observar los consumos máximos de corriente de cada integrado, la corriente que circulará en los indicadores luminosos, en el *buzzer* y en los transductores con la finalidad de calcular la carga total del circuito.

Componente	Cantidad	$I_{CCMAX} [mA]$	$I_{CCMAX} * Cant [mA]$
SN74LS04	1	6.6	6.6
SN74LS08	1	6.6	6.6
SN74LS32	1	13	13
SN74LS73A	1	20	20
SN74LS138	1	10	10
SN74LS161A	2	6	12
LEDS	5	20	100
BUZZER	1	16	16
T. CAPACITIVOS	2	200	400
$I_{CCMAX} \text{ total } [mA]$			584.2

Figura 5.9. Tabla de corrientes máximas

Como se puede observar en la tabla anterior la carga máxima es menor a 1 A, por lo que se diseñará una fuente de alimentación, utilizando reguladores integrados para obtener *+12 VCD* y *+5 VCD*.

a) Fuente de alimentacion de 12 VCD

Para obtener los +12 VCD se utilizará el MC7812B, que es un regulador de voltaje de tres terminales capaz de proporcionar una corriente máxima de 1.0 A y requiere un voltaje de entrada comprendido entre 14.5 VCD (V_{in}) y 27 VCD.

Si se utiliza un transformador con una relación de transformación de 127/12 VCA a 2 A. El voltaje de pico sería de:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 12 = 16.97 \text{ V}$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{Rp-p \text{ máx.}} = V_p - V_{in \text{ mín.}} = 16.97 - 14.5 = 2.47 \text{ V}$$

El voltaje de rizo *rms* será:

$$V_{R \text{ rms}} = \frac{V_{Rp-p \text{ máx.}}}{2\sqrt{3}} = \frac{2.47}{2\sqrt{3}} = 0.713 \text{ V}$$

El voltaje de corriente directa que entregará

$$V = V_p - \frac{V_{Rp-p}}{2} = 16.97 - \frac{2.47}{2} = 15.735 \text{ V}$$

Para obtener el valor del capacitor se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{R \text{ rms}} = \frac{I_{DC} * V_{DC}}{4\sqrt{3} * f * C * V_p}$$

Despejando C de la ecuación anterior y sustituyendo valores, donde f es la

frecuencia 60 Hz del voltaje de línea, el valor de C_1 será:

$$C_1 = \frac{1 * 15.735}{4\sqrt{3} * 60 * 16.97 * 0.713} = 3,128.4 \mu F$$

Del valor obtenido se utilizará un capacitor C_1 de 3,300 μF a 50 V.

b) Fuente de alimentación de 5 VCD

Para obtener el voltaje de +5 VCD se utilizará el regulador de voltaje MC7805, y el tap central del transformador para obtener una relación de transformación de 127/6 VCA. El voltaje de pico sería de:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} = \sqrt{2} * 6 = 8.48 V_p$$

El voltaje de rizo pico a pico máximo será:

$$V_{Rp-p \text{ máx.}} = V_p - V_{in \text{ mín.}} = 8.48 - 7 = 1.48 V$$

El voltaje de rizo rms será:

$$V_{R \text{ rms}} = \frac{V_{Rp-p \text{ máx.}}}{2\sqrt{3}} = \frac{1.48}{2\sqrt{3}} = 0.427 V$$

El voltaje de corriente directa que entregará:

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_{Rp-p}}{2} = 8.485 - \frac{1.48}{2} = 7.745 V$$

Para obtener el valor del capacitor C_4 se aplica la siguiente ecuación:

$$C_4 = \frac{1 * 7.745}{4\sqrt{3} * 60 * 8.485 * 0.427} = 5,142.45 \mu F$$

Del valor obtenido se utilizará para C_4 un capacitor de $6,800 \mu F$ a $50 V$.

El circuito eléctrico de la fuente de alimentación del AEPS se muestra en la figura 5.10.

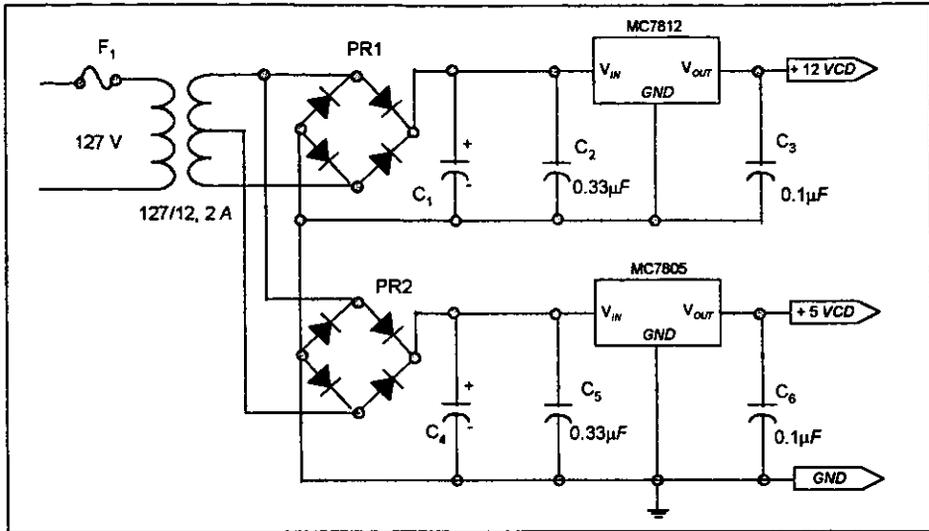


Figura 5.10. Fuente de alimentación del AEPS.

Para el cálculo del valor del fusible F_1 mostrado en la figura anterior se tiene que obtener la corriente en el devanado primario del transformador:

$$I_{prim} = \frac{12}{127} * 1 = 0.09448 A_{rms}$$

Del valor obtenido y dando una tolerancia, el fusible comercial siguiente más elevado es de $0.25 mA$.

Una vez diseñado el AEPS se procederá a presentar el mezclador de aire-oxígeno y el oxigenador, con el fin de realizar una selección de estos dos equipos para poder completar el sistema de perfusión.

5.9 MEZCLADOR DE AIRE-OXÍGENO (*BLENDER*)

Un mezclador o *blender* es un dispositivo que mide y mezcla aire con oxígeno a una concentración determinada de oxígeno (FiO_2 ó fracción inspirada de oxígeno) entre 21% y 100%. En la figura 5.11 se muestra el mezclador de aire-oxígeno de Sechrist. Los mezcladores de gases se utilizan para reducir o incrementar la concentración de oxígeno en la membrana de oxigenación, cuando se llevan al cabo periodos de hipotermia o de anestesia profunda. La demanda de oxígeno del paciente se modifica en función de los cambios en la tasa metabólica que se manifiestan en forma de *acidosis* o *alcalosis* respiratoria. Las entradas al dispositivo provienen en general de las tomas de la pared del hospital.

Existen varias marcas y tipos de mezcladores en el mercado los cuales se utilizan en máquinas de anestesia y sistemas de circulación extracorpórea destacando, en este campo, la marca líder *Sechrist*. En los siguientes párrafos se describe brevemente el mezclador de aire-oxígeno.

a) Mezclador de aire-oxígeno Sechrist

Un mezclador de aire-oxígeno debe permitir al operador seleccionar la relación del flujo de los gases en cuestión. Esto puede hacerse utilizando dos restrictores variables como las válvulas de aguja, las cuales se unen de forma que el área de flujo efectiva de los dos restrictores variables sea inversamente proporcional. Estos restrictores variables son posicionados mediante una perilla de control, en donde el movimiento de la perilla de control incrementará el área de flujo efectiva de un gas mientras decremente el área de flujo efectiva del otro gas. La relación de las áreas determina la relación del flujo de los dos gases. En la figura 5.12 podemos ver un corte del módulo de proporción del mezclador de aire-oxígeno *Sechrist*.

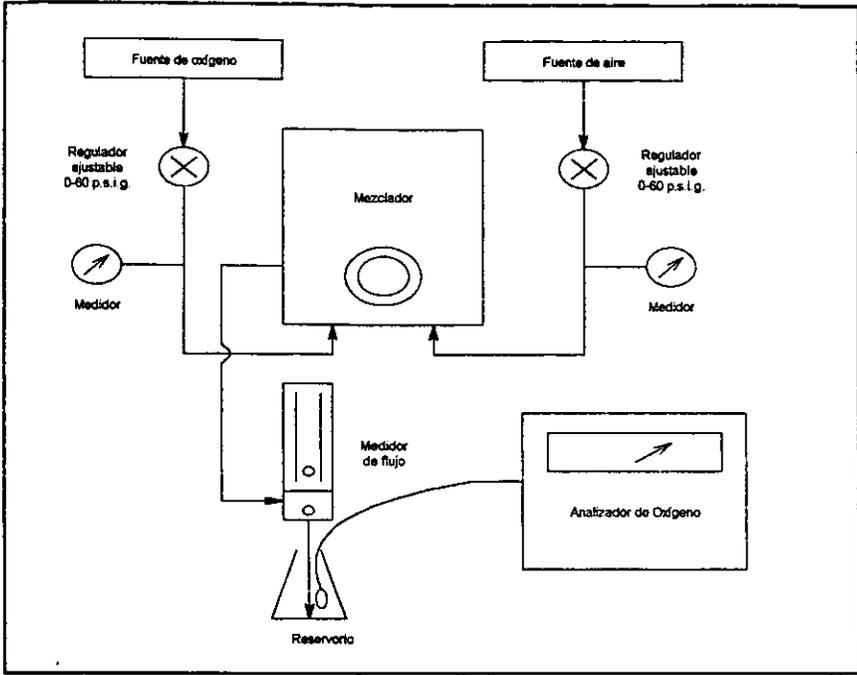


Figura 5.11. Mezclador de aire-oxígeno.

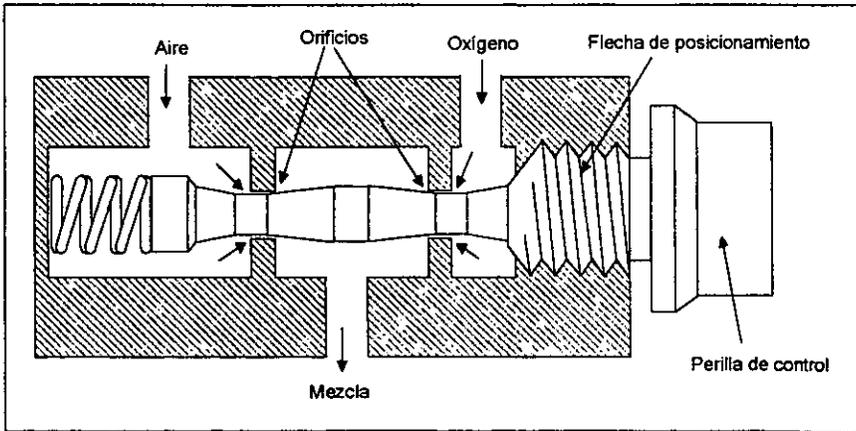


Figura 5.12. Módulo de proporción del mezclador de aire-oxígeno Sechrist.

Este simple sistema sería todo lo necesario para proporcionar la mezcla de los dos gases en la proporción deseada; Sin embargo, es necesario que la diferencia de presión a través de los orificios de ambas áreas sea idéntica; varios métodos son utilizados por diferentes fabricantes para igualar las presiones suministradas de los dos gases.

El mezclador *Sechrist* utiliza un regulador tipo *Nulling* (nulificador) el cual fue concebido en 1930 y está basado en que la presión de un gas controle la presión del otro, pudiendo ser cualquiera de los gases el que lleve el control. Un regulador tipo *Nulling* tenderá a igualar la presión del gas que se encuentre a la presión más alta, con la del gas a menor presión. En la figura 5.13 se muestra en forma esquemática este tipo de regulador.

El regulador tipo *Nulling* tiene un arreglo de dos válvulas de aguja colocadas en los lados opuestos de un diafragma central de forma que no puedan estar cerradas las dos al mismo tiempo y están diseñadas de tal forma que el área de flujo efectiva de cada gas sea inversamente proporcional a la otra. Cuando la fuente de un gas es encendida la presión de ese gas actuará sobre el diafragma empujándolo hasta que la válvula se cierre y ya no permita el flujo del gas; si la fuente del otro gas es, entonces, encendida se encontrará con su válvula abierta y la presión de ese gas actuará sobre el diafragma el cual se moverá a una posición en la cual las presiones actuando en ambos lados del diafragma sean iguales, si las dos presiones actuantes sobre el diafragma no son iguales éste tenderá a alejarse de la presión mayor ocasionando que de esta forma la válvula de aguja del gas, a la presión más alta, comience a cerrarse reduciendo con esto la presión en el diafragma, al mismo tiempo que la válvula en el lado opuesto, sometida a la presión más baja, tienda a abrirse y de esta forma las presiones de salida serán iguales. Estos gases ya con las mismas presiones son, entonces, enviados hacia el módulo de proporción para mezclarse en la proporción deseada.

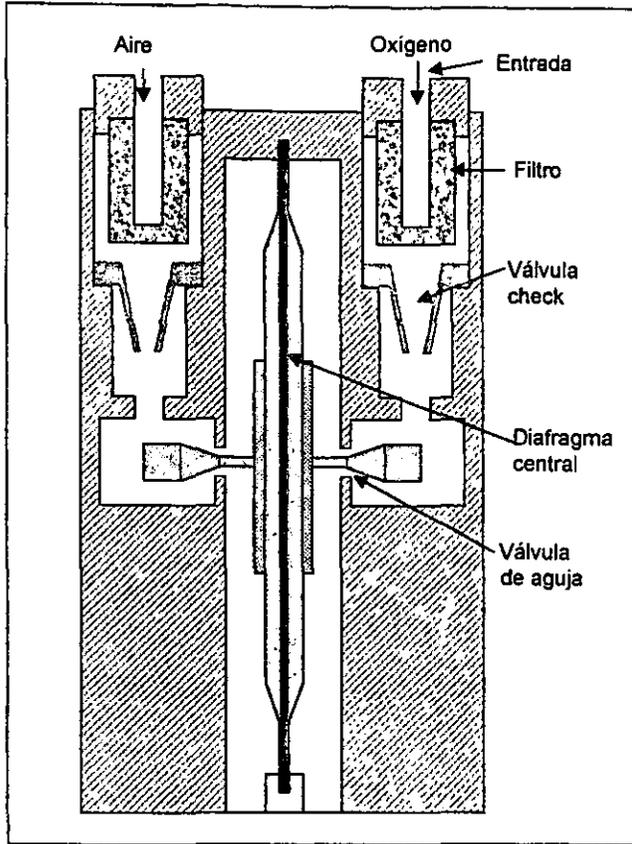


Figura 5.13. Regulador *Nulling*.

Como se mencionó previamente, la característica de un regulador *Nulling* es crear salidas de presión iguales a la presión más baja de cualquiera de los dos gases de entrada, en el caso extremo de que alguna de las presiones de entrada fuera igual a cero la presión de salida sería cero, de ahí la necesidad de incluir un módulo que alerte al operador y además evite el paso por el regulador *Nulling*, permitiendo el libre paso del gas a la presión más alta hacia la salida del módulo de proporción. Este dispositivo o módulo de alarma de paso (*bypass*) se encuentra

incorporado en el mezclador de aire-oxígeno *Sechrist* el cual es mostrado en la figura 5.14.

Este módulo consta de dos pistones móviles, uno por cada gas. Estos pistones se encuentran sujetos a la fuerza de un resorte el cual a su vez se encuentra apoyado a una perilla de ajuste.

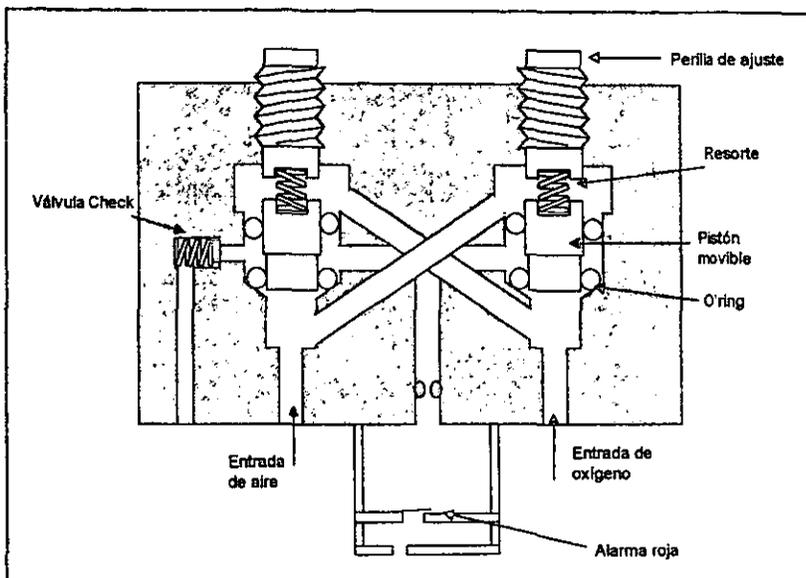


Figura 5.14. Módulo de alarma *bypass*.

Las perillas de ajuste sirven para calibrar la presión a la que se activará la alarma audible. Los pistones móviles se encuentran situados en una cavidad, la cual tiene un diámetro mayor al del pistón, dicho pistón además cuenta con dos *O'ring* (anillos de hule), los cuales se encuentran situados uno en la cara frontal y otro en la cara posterior, de forma tal que cubren el espacio libre entre la cavidad y el pistón. La presión de cada gas actúa directamente sobre la cara frontal del pistón que le corresponde y sobre la cara posterior del pistón correspondiente al otro gas. Cuando las presiones de entrada de los gases son iguales, la posición de

los pistones se encuentra en equilibrio impidiendo el flujo de cualquiera de ellos hacia la alarma audible, pero cuando alguno de los gases cae, el pistón correspondiente a la presión más alta se moverá permitiendo el flujo de este gas hacia la alarma audible y hacia una válvula *check*, la cual se abrirá permitiendo el paso libre de éste hacia la salida del módulo de proporción, evitando el paso por el regulador *Nulling*.

En la figura 5.15 se presenta un mezclador aire-oxígeno, el cual integra los tres módulos previamente descritos. En este mezclador la entrada de los dos gases son regulados por la válvula tipo *nulling*, igualadora de presiones. El módulo de alarma vigila constantemente si alguna de las presiones cae por debajo del valor establecido. El módulo de proporción permite la regulación de la cantidad de oxígeno que se requiere.

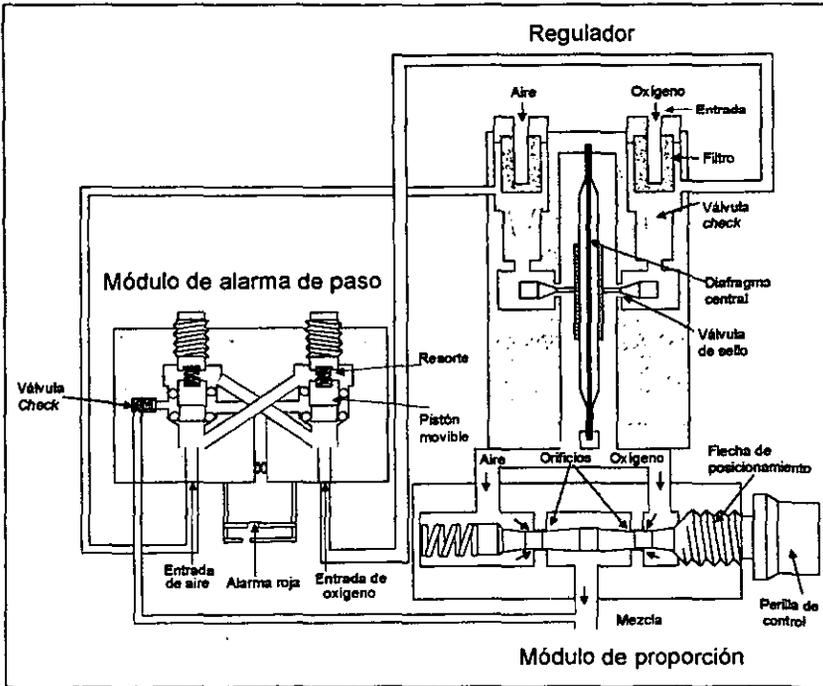


Figura 5.15. Integración de los componentes del mezclador aire-oxígeno.

5.10 OXIGENADOR

Se considera un oxigenador como un dispositivo de perfusión que sustituye la función de los pulmones durante el proceso de circulación extracorpórea. Los objetivos de un oxigenador son los siguientes:

- Oxigenar la sangre venosa.
- Eliminar bióxido de carbono (CO_2).
- Generar un trauma mínimo a la sangre (*hemólisis*).
- Contar con un volumen de cebado mínimo.

Existen dos tipos de oxigenadores: los de burbuja (actualmente ya en desuso) y los de membrana. Estos últimos se dividen, a su vez, en dos tipos: 1) fibra hueca y 2) placa plana.

a) Oxigenador de fibra hueca

El oxigenador de fibra hueca, está diseñado para ser utilizado en procedimientos quirúrgicos en adultos. En la figura 5.16 se muestra un oxigenador de este tipo. Cuenta con un intercambiador de temperatura integrado, que permite llevar a cabo una perfusión segura con un intercambio consistente de gases, manteniendo constante la temperatura de la sangre. El tamaño tanto de la membrana de fibra hueca, como del intercambiador de calor aseguran la eficiencia de operación del dispositivo, así como un volumen de cebado mínimo.

La membrana de este oxigenador se encuentra dispuesta en configuración de fibra hueca y está hecha de polipropileno microporoso, en la cual la sangre fluye por el exterior de las fibras y el oxígeno por el interior de las mismas. Los capilares de la membrana se presentan dispuestos en "cross-wound" (enrollado cruzado), dicho término se refiere al ángulo generado entre una capa y otra de

capilares, que evitan el aglutinamiento de las fibras y permiten un mejor control de la densidad de capilares dentro del paquete. Una de las características más importantes de la membrana, es que permite la transmisión de flujo pulsátil, gracias a la baja resistencia que presenta cuando se somete a este tipo de flujo o de presión.

Todas las características mencionadas anteriormente dan como resultado un oxigenador de fácil manejo, tamaño reducido, volumen de cebado mínimo, seguro y eficiente.

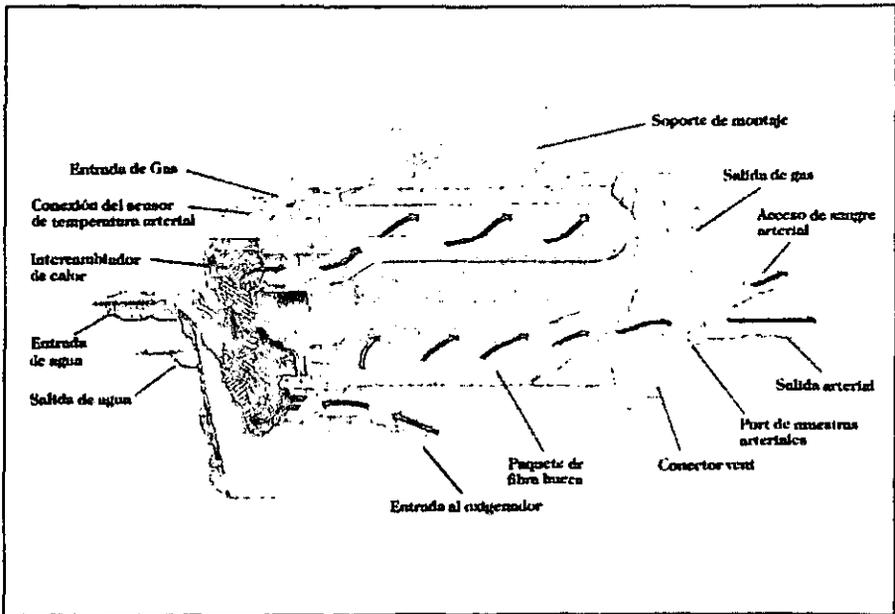


Figura 5.16. Oxigenador de fibra hueca.

b) Oxigenador de placa plana

El oxigenador de placa plana tiene la característica única de tener una membrana seccionada en dos partes iguales, unidas por una tubería de conexión venosa que puede ser ocluida, dependiendo de las necesidades que se tengan durante la cirugía.

La membrana del oxigenador, se encuentra dispuesta en placas planas paralelas de polipropileno microporoso. Los oxigenadores de placa plana han ido evolucionando con respecto a modelos anteriores en la reducción del área de membrana, sin embargo, la eficiencia en la transferencia de oxígeno se mantuvo gracias al rediseño de la circulación de sangre en el interior del oxigenador. La reducción del área de membrana, conlleva a su vez, a la reducción del volumen de cebado. El hecho de que la membrana esté diseñada en forma de dos compartimentos o secciones, evita la hemodilución excesiva del paciente, mediante la selección del área total de membrana que se va a utilizar. Aunque ambos compartimentos deban cebarse al inicio del procedimiento quirúrgico, la selección de uso de la membrana completa o la mitad de la misma se lleva a cabo por medio del pinzamiento del tubo de unión venosa. Cada una de las cámaras tiene su propia salida de ventilación de gases, por lo que no se corre el riesgo de una sobresaturación de gases anestésicos en el interior del dispositivo, cuando se utilizan las dos membranas; su intercambiador de temperatura está hecho de acero inoxidable texturizado, dispuesto en forma de placas paralelas y gracias al reducido espesor de sus láminas se obtiene una mejor transferencia de calor y la orientación vertical del mismo facilita el cebado y la eliminación de burbujas. La texturización del intercambiador de temperatura permite la generación de flujo turbulento en el lado donde circula el agua y de flujo laminar en el lado donde circula la sangre, mejorándose así el intercambio de temperatura.

El único fabricante a nivel mundial de oxigenadores de placa plana es *COBE* y el modelo más reciente para pacientes adultos es el *CML Duo*.

c) Oxigenador pediátrico

La principal diferencia entre un oxigenador pediátrico y uno utilizado en pacientes adultos estriba en un volumen de cebado menor, ya que el volumen de sangre de un niño es menor que el de un adulto y esta diferencia se hace extrema en el caso de los recién nacidos (neonatos).

Existen también dos tipos de oxigenadores pediátricos: los de fibra hueca y los de placa plana. Estos últimos solo son fabricados por COBE. El principio de operación de ambos tipos de oxigenadores es similar a los descritos en párrafos anteriores.

Debido a la diversidad de fabricantes y modelos de oxigenadores de fibra hueca pediátricos, que las diferencias entre una marca y otra son mínimas y a que sus características generales ya fueron descritas en el apartado de oxigenadores de fibra hueca, sólo se incluye una breve descripción de un oxigenador pediátrico de placa plana por existir en éste algunas características que lo diferencian de los demás en cuanto al volumen de cebado.

El oxigenador pediátrico *VPCML Plus* incluye en un solo módulo, la opción de manejar pacientes desde neonatos hasta adolescentes o adultos de bajo peso. Al igual que en el oxigenador de placa plana *CML Duo*, la membrana se encuentra segmentada, pero a diferencia de éste, los compartimentos se dividen en 1/3 y 2/3 del total de la membrana.

La membrana del oxigenador pediátrico es de placa plana paralela de polipropileno microporoso. Cada uno de los compartimentos de la membrana tiene su propia entrada y el uso de toda la membrana se lleva a cabo, por medio de un tubo de unión colocado entre las entradas mencionadas anteriormente. Una de las principales ventajas que se tienen en el uso de membranas segmentadas es la

disminución en el volumen de cebado, con la consecuente reducción de la hemodilución del paciente.

Las especificaciones para cada una de las membranas se muestran en la tabla de la figura 5.17.

El oxigenador pediátrico VPCML Plus incluye un reservorio en el que se encuentra integrado, a su vez, un intercambiador de temperatura, el cual está constituido por un serpentín de acero inoxidable, cuya superficie se encuentra anillada de modo que se incremente la superficie de contacto y el intercambio de calor sea más eficiente. El cuerpo del reservorio es de policarbonato, lo que asegura una alta resistencia contra impactos mecánicos.

SECCIÓN	APLICACIÓN	VOLUMEN DE CEBADO (ml)	ÁREA (m ²)	FLUJO (l/min)
1/3 del total (membrana pequeña)	Neonatos/Lactantes	70	0.4	1.3
2/3 del total (membrana grande)	Lactante/Niño	140	0.85	2.7
Toda la membrana	Niño/Adulto de bajo peso (50 Kg)	210	1.25	4.0

Figura 5.17. Tabla de aplicaciones para los segmentos de membrana.

En la figura 5.18 se presenta una tabla comparativa entre diferentes fabricantes, modelos y tipos de oxigenadores. En ella se observa que los oxigenadores con menor volumen de cebado son: el Optima para pacientes adultos y el Micro Polystan para pacientes pediátricos; sin embargo, la elección del oxigenador más adecuado queda en manos del perfusionista, el cual se basará, además de los datos anteriores, en el estado físico y complejidad del paciente.

FABRICANTE	OXIGENADOR	VOL. DE CEBADO (ml)	CAPACIDAD DE OXIGENACIÓN (lt)
ADULTOS			
COBE	OPTIMA	280	8.0
TERUMO	CAPIOX SX 18	270	7.0
MEDTRONIC	MAXIMA PRF	480	7.0
BAXTER	ESPIRAL GOLD	270	7.0
	MACHI	520	7.0
BARD	QUANTUM	270	7.0
PEDIÁTRICOS			
POLYSTAN	MICRO	42	0.7
MEDTRONIC	MINIMAX	140	1.5
TERUMO	CAPIOX 308	80	0.8
	CAPIOX 320	200	2.0
COBE	VPCML PLUS		
	(1/3)	70	1.3
	(2/3)	140	2.7
	(TOTAL)	210	4.0

Figura 5.18. Tabla comparativa de oxigenadores.

En el siguiente párrafo se describen algunas características de reservorios ya que algunos oxigenadores no lo traen integrado.

5.11 RESERVIORIOS

Los reservorios constituyen el primer paso de entrada de la sangre venosa y de recolección de campo (cardiotomía) en el circuito de circulación extracorpórea. Cuentan con los elementos necesarios para llevar al cabo la filtración primaria y secundaria de la sangre de cardiotomía y con la capacidad suficiente para almacenar la sangre venosa proveniente del paciente. Los reservorios pueden ser rígidos (sistema abierto) o flexibles (sistema cerrado); el sistema cerrado es conocido también como sistema *colapsable*, ya que conforme

entra sangre al mismo, el reservorio se expande y la reducción de volumen genera el contracción del reservorio.

De manera general los reservorios están constituidos por:

- *Cuerpo*. Este constituye básicamente las paredes y fondo del recipiente, está fabricado comúnmente de policarbonato, debido a la alta resistencia que tiene dicho material.
- *Tapa*. Sitio de acceso de las líneas de succión, línea de cebado, conectores de ventilación y conectores de administración de medicamentos. La salida del reservorio se encuentra en la base.
- *Filtro*. El filtro está dividido en tres partes, una malla externa, un filtro plisado en el que se da una calibración de filtración (20, 30 ó 40 *micras*) y un filtro de espuma de poliuretano que funciona como desespumante.

Una vez concluida la descripción del *AEPS*, del blender y de los desechables pasaremos a efectuar la integración de nuestro sistema de perfusión.

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE PERFUSIÓN

En este apartado se integrará la arquitectura del sistema de perfusión ubicando los módulos que se diseñaron en los capítulos anteriores.

COMPONENTES DEL SISTEMA

Como se mencionó en el capítulo primero, un sistema de perfusión está formado principalmente por: un intercambiador de temperatura, 4 bombas de rodillos, un *AEPS*, un oxigenador y un reservorio. El primero de ellos, permite disminuir o aumentar la temperatura en la sangre del paciente para poder llevar a cabo la intervención quirúrgica de manera más segura; las bombas de rodillos se van a encargar de impulsar y extraer la sangre de y hacia el paciente, así como el bombeo de la sustancia de cardioplegia y la extracción de la sangre sucia; el oxigenador permitirá llevar a cabo el intercambio gaseoso en la sangre oxigenándola; en el reservorio se almacenará la sangre ya oxigenada y filtrada y es ahí en donde el intercambiador de temperatura actuará sobre la temperatura

de la sangre; finalmente el AEPS, el cual es el sistema de protección contra embolias y tendrá a su cargo detener la bomba de rodillos arterial y alertar al perfusionista si se detecta una burbuja de aire en la línea de retorno al paciente.

6.1 INTERCAMBIADOR DE TEMPERATURA

Los elementos que integran el intercambiador estarán contenidos en un gabinete de 60 *cm* de profundidad por 60 *cm* de frente y por 80 *cm* de altura, contará además con ruedas para su fácil desplazamiento al lugar en donde sea requerido.

El intercambiador de temperatura forma parte del diseño del presente trabajo y su operación es independiente del funcionamiento de los demás módulos que integran el sistema. Su función principal será hacer fluir agua a una temperatura determinada a través de un serpentín, el cual estará envolviendo al reservorio de sangre y nunca hay contacto directo entre el líquido bombeado por el intercambiador de temperatura y la sangre. En el intercambiador de temperatura el bombeo de agua se llevará a cabo por medio de una bomba centrífuga de 1/8 de caballo de fuerza.

En la figura 6.1 se muestra un prototipo del intercambiador de temperatura y como se vio en el diseño de éste, está formado por dos tanques: uno para agua fría y uno para agua caliente, los elementos calefactores, las válvulas solenoides para controlar la dirección del flujo en el circuito hidráulico dentro del intercambiador y una bomba centrífuga.

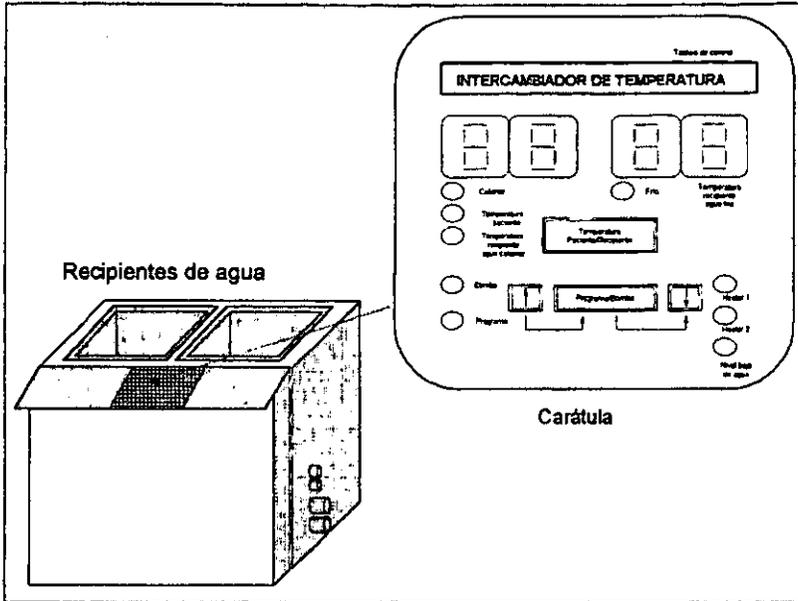


Figura 6.1. Vista general del intercambiador de temperatura.

Todos los elementos mencionados son controlados por un circuito electrónico principal el cual monitorea las temperaturas del agua tanto fría como caliente y despliega los valores de la misma; también interpreta y ejecuta las funciones asignadas por el usuario a través de la *interface* con éste. En la figura 6.2 se muestra un diagrama esquemático de la distribución de todos estos elementos dentro del módulo del intercambiador de temperatura.

Existen cuatro válvulas solenoides: dos para la manipulación de agua fría (VC1 y VC2) y dos válvulas solenoides para el agua caliente (VH1 y VH2). Éstas siempre trabajan en pares, es decir, las dos de agua fría o las dos de agua caliente, pero nunca intercambiadas debido a que no es conveniente almacenar el agua indistintamente en los tanques.

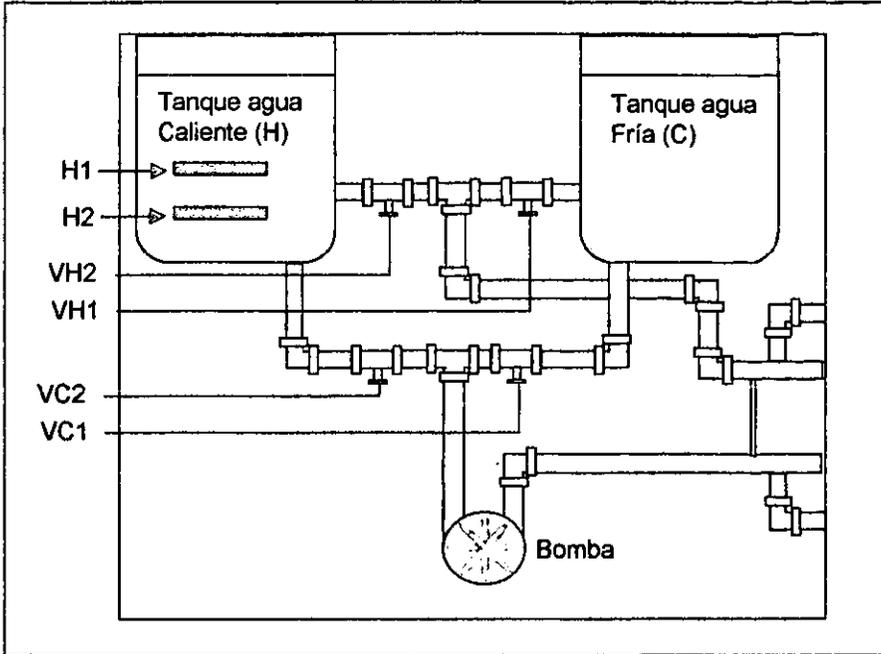


Figura 6.2. Distribución de los elementos del intercambiador de temperatura.

Los tanques en los que se almacena el agua pueden ser removibles del gabinete y se fijan por medio de una placa metálica en la cual también se fijarán dos de las válvulas solenoides: una para cada tanque.

La bomba centrífuga succionará el agua de los tanques y la impulsará hacia el serpentín del reservorio a través de la salida marcada como *salida de agua* y regresará a los tanques por medio de la conexión marcada como *agua en retorno*. En la figura 6.3 se muestra la vista posterior del intercambiador de temperatura en donde aparecen los elementos arriba mencionados.

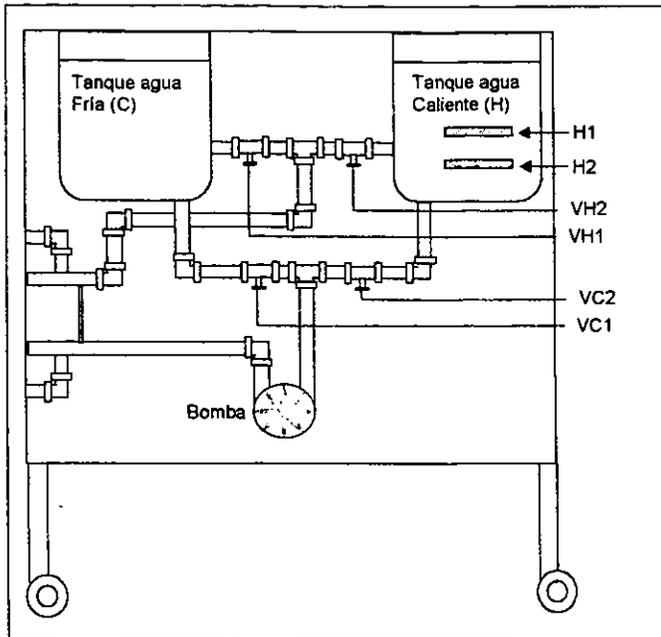


Fig. 6.3. Vista posterior del intercambiador de temperatura.

Los elementos eléctricos y electrónicos que forman parte del intercambiador de temperatura están integrados dentro del módulo. En la figura 6.4 se puede observar la distribución física de éstos. En ella se puede ver la tarjeta principal, el banco de relevadores y la fuente de alimentación se encuentran localizados directamente al frente del equipo y separados de los elementos de circulación de agua para evitar posibles daños por fugas o derrames de agua, así como disminuir los riesgos de un *electro-shock* al operador. Los componentes electrónicos de la tarjeta de control o principal se ensamblan de tal forma que por una de sus caras se tengan los *displays* y *leds* para visualización directa del usuario y los componentes electrónicos vayan montados en la otra cara del circuito impreso, lo anterior es con la idea de facilitar el acceso en los eventos de servicio y mantenimiento, tanto preventivo como

correctivo; así mismo, el banco de relevadores y la fuente de alimentación serán accedidas simplemente quitando la tapa frontal del equipo.

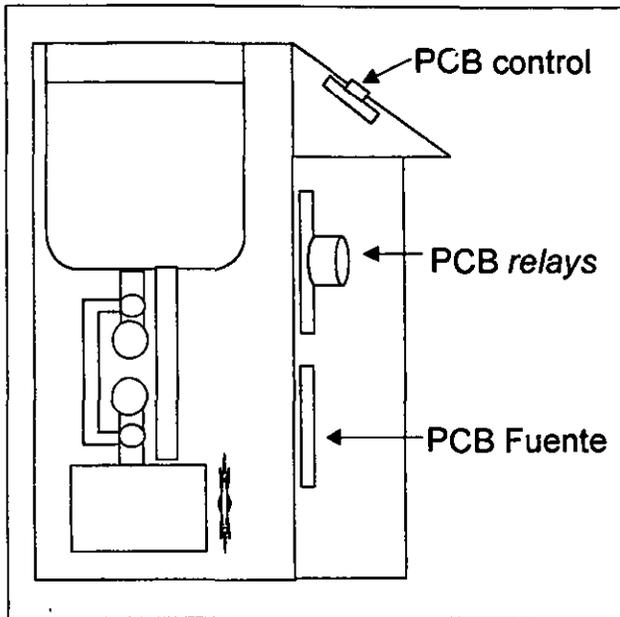


Fig. 6.4. Vista lateral del intercambiador de temperatura.

6.2 BOMBAS DE RODILLOS

Este módulo también fue diseñado durante el presente trabajo. Cada sistema de perfusión utiliza cuatro bombas de rodillos: la bomba arterial, la bomba de cardioplegia y las dos bombas de succión. Cada una de ellas puede ser intercambiable entre sí ya que físicamente son iguales y presentan la gran ventaja de que como nunca hay contacto físico con los fluidos desplazados su reemplazo se reduce simplemente a liberar las mangueras e insertar una bomba nueva y volver a capturar las mangueras y continuar su funcionamiento normal. En la

figura 6.5 se muestra el diagrama general de cómo se integrará una de las bombas de rodillos.

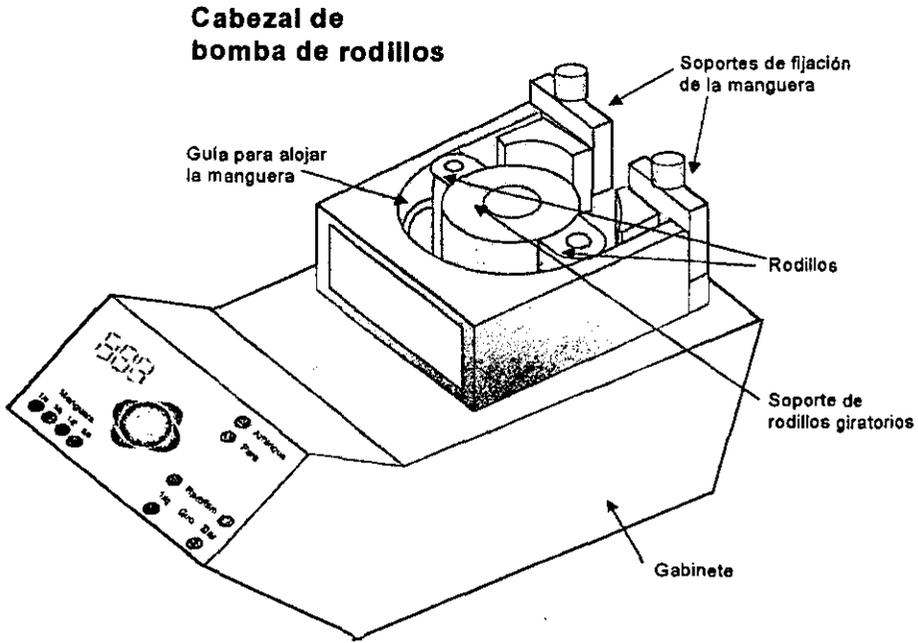


Figura. 6.5. Presentación de la Bomba de Rodillos.

La integración de los componentes de la bomba de rodillos requieren de menos aspectos de seguridad dado que no se maneja ningún tipo de fluido dentro del módulo; de hecho, todos los elementos están ubicados dentro de una misma caja.

En la figura 6.6 se muestra el esquema de la vista inferior de la bomba de rodillos en donde el movimiento de los rodillos depende del giro del motor y de la relación de velocidad que existe entre la polea 1 y la polea 2. El motor recibe su alimentación directamente del circuito del control de velocidad del motor y la

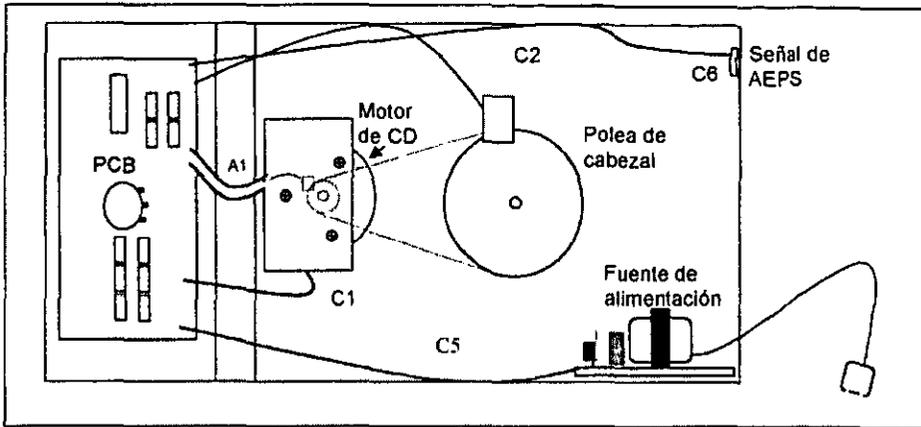


Figura 6.6. Vista inferior de la bomba de rodillos.

interacción de éste último y el circuito del control de la bomba es por medio del arnés 1. En este arnés van los cables que llevan la señal de paro, arranque y sentido de giro. Los cables de conexión al potenciómetro *POT1* entran directamente a la tarjeta de control de velocidad del motor. El circuito de control de la bomba va a alojar al *MCU* y la lógica utilizada en este circuito.

La señal de paro del *AEPS* y del nivel de sangre, provenientes del depósito de sangre, entran al equipo por medio del *conector C6* localizado en la parte posterior del módulo y a la tarjeta de control de la bomba por medio del *conector C2*. La señal de alarma de *tapa abierta* entra al circuito de control a través del *conector C1*.

El voltaje requerido para el funcionamiento de la tarjeta de control de la bomba proviene de la fuente de alimentación *PS1* la cual recibe 127 VCA del receptáculo para clavija localizado en la parte posterior del módulo. Estos 127 VCA son enrutados también a la tarjeta de control de velocidad, vía el *conector*

C5 donde serán convertidos en 24 VCD para alimentar al motor M1. En la figura 6.7 se muestra la distribución de los elementos descritos en este párrafo.

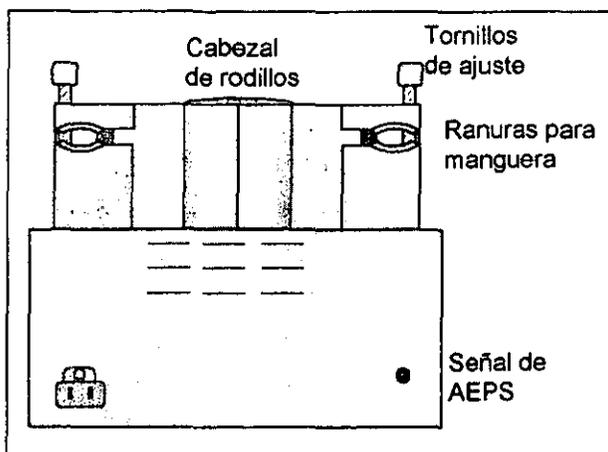


Fig. 6.7. Vista posterior de la bomba de rodillos.

La tarjeta de control de la bomba se encuentra localizada directamente detrás del panel de *interface* con el usuario y la de control de velocidad del motor se encuentra en la placa que sirve de base al motor, para facilitar su acceso en casos de servicio o mantenimiento. El panel de *interface* con el usuario estará sujeto al cuerpo principal de la bomba por medio de bisagras que permitirán abrirlo sin necesidad de desconectar ningún cable.

Como se mencionó con anterioridad, se requieren de 4 bombas de rodillos para integrar un sistema de perfusión. Estas 4 bombas, aunque están alojadas dentro del mismo gabinete, no interactúan entre sí y no tienen elementos comunes al momento de operar; lo cual permite que sean intercambiables y si ocurriera alguna falla a una de ellas, su reemplazo es muy sencillo sin necesidad de tener que hacer configuraciones especiales al equipo o al programa de control. La asignación de la función que van a llevar a cabo dentro del sistema se dejará a

criterio del perfusionista. Al igual que en el intercambiador de temperatura el gabinete cuenta con ruedas para facilitar su transporte.

6.3 MÓDULO DE PROTECCIÓN CONTRA EMBOLIAS (AEPS)

El módulo AEPS básicamente consiste en dos sensores capacitivos, uno que será colocado sobre las líneas que transportan la sangre a la salida del oxigenador y se propone que sea fijado lo más próximo a éste. El sensor se montará sobre una pinza que tendrá una cavidad para alojar la manguera sin bloquear el paso de la sangre y quedará posicionado de tal manera que la cara de éste sea perpendicular a la manguera, con el objeto de que al haber presencia de una burbuja de aire en el torrente sanguíneo el valor de la capacitancia varíe permitiendo al sensor generar una señal lógica de nivel alto a nivel bajo, la que se envía a la tarjeta de control de la bomba de rodillos. En la figura 6.8 se muestra ubicación del sensor dentro de la pinza y la posición de la manguera.

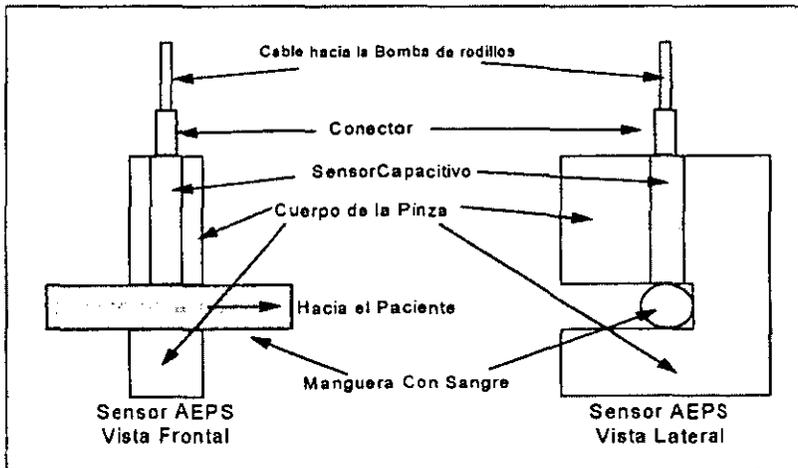


Figura 6.8. Sensor de Protección contra Embolias AEPS.

El otro sensor es idéntico al utilizado para detectar las burbujas de aire en la sangre que circula por las mangueras, tanto en características físicas como de diseño, pero la diferencia radica en que éste va a estar colocado sobre una de las paredes del reservorio de sangre a la altura donde se tenga el volumen mínimo, y cuando el nivel de sangre vaya por debajo del sensor, éste emitirá una señal de nivel bajo, la cual será enviada a la tarjeta de control de la bomba de rodillos para detener la bomba. En la figura 6.9 se muestra la posición del sensor respecto al depósito de sangre.

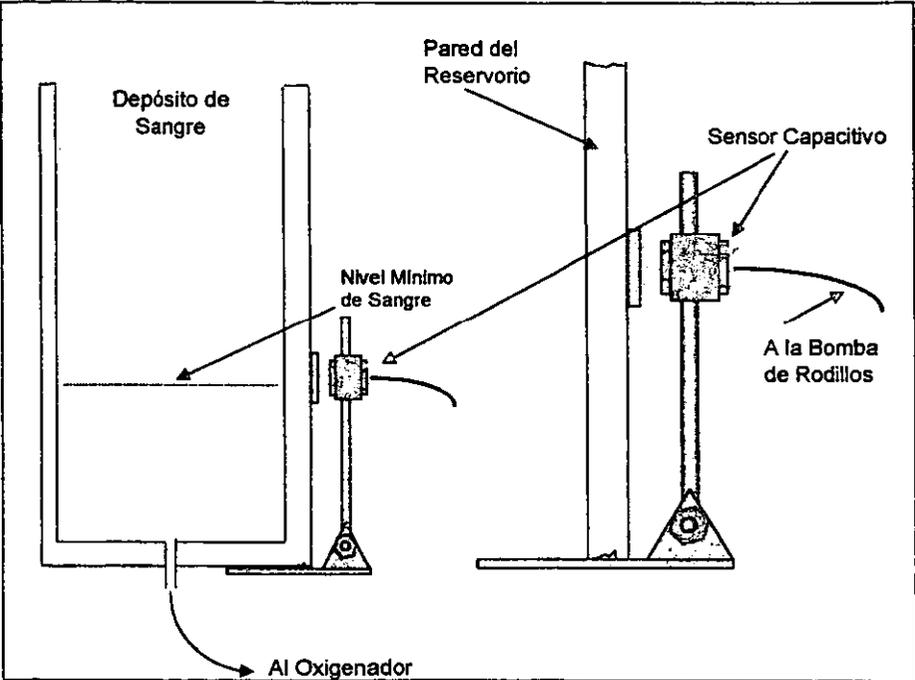


Figura 6.9. Sensor de nivel de sangre.

6.4 OXIGENADOR, FILTRO Y RESERVORIO

Estos elementos no fueron diseñados en este trabajo ya que son desechables y tan sólo se consideraron dentro de la etapa de diseño por tener relación con ciertos parámetros del mismo, estos elementos tienen contacto directo con la sangre del paciente durante la operación por lo cual sólo se utilizan una vez. En el mercado existen diversas compañías que fabrican estos consumibles.

En la figura 6.10 se muestra la interacción de todos los módulos del sistema de perfusión.

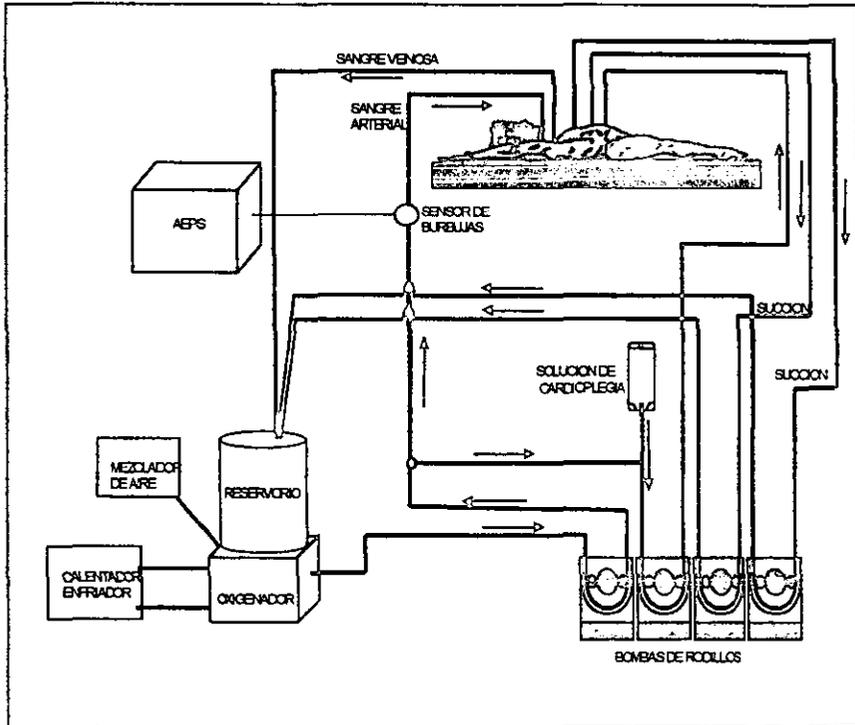


Figura 6.10. Sistema de Perfusión integral.

En términos generales en este capítulo se mostró la propuesta del modelo final para los módulos del sistema. Se buscó ser lo más objetivo posible en términos de la estructuración de cada uno de los componentes que forman el sistema.

En el siguiente capítulo se darán las conclusiones resultantes del desarrollo de esta tesis siendo el enfoque de éstas la visión final todos los integrantes del equipo de trabajo y no las de los participantes de manera individual.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el presente apartado haremos un breve análisis comparativo entre los resultados deseados y los obtenidos.

En el capítulo I se cubrió el objetivo planteado de dar el concepto de la perfusión, su historia y su uso en las cirugías de corazón abierto, el funcionamiento del sistema circulatorio y conocer, en forma general, las patologías de los padecimientos cardiopulmonares. Esto ha servido como preámbulo para conocer los factores que conducen a las malformaciones en el organismo de los seres humanos principalmente, y que se han sometido a una cirugía cardiovascular utilizando un proceso de perfusión; así mismo, y con base a ello, se han determinado los factores que regulan la operación de estos sistemas así como la interacción de los elementos que lo integran.

En el capítulo II se cubrió el objetivo deseado de presentar los conceptos técnicos generales que se utilizaron durante el desarrollo de la tesis.

En el capítulo III se llevó a cabo el diseño del intercambiador de temperatura, en el cual se incluyeron ventajas con relación a los equipos existentes en el mercado, como son poder controlar y desplegar la temperatura del paciente, características que no están disponibles en los equipos comerciales actuales.

En el capítulo IV se revisaron las ventajas y desventajas de utilizar una forma alterna de bombear sangre por medio de una bomba de rodillos; dado que, es importante considerar el valor de flujo que se suministra, fue necesario desarrollar la electrónica de control que permitiera un manejo eficiente de la información de los parámetros que interactúan en la obtención del flujo. El desarrollar las bases para construir una bomba de rodillos, nos permitió hacer una investigación sobre los riesgos que hay al manejar la sangre, así como los factores que pueden deteriorar ésta y los riesgos que se presentan al hacerla fluir por diferentes tipos de tubería y exponerla a cambios diferentes de temperatura y procesos de oxigenación

En el desarrollo de la bomba de rodillos se encuentra pendiente el desarrollo mecánico del cabezal, ya que en este trabajo sólo se integró en la bomba un cabezal de línea de marca. Este cabezal puede ser diseñado en un estudio posterior, logrando con esto reducir en un grado importante el costo de esta parte mecánica.

En el capítulo V se diseñó el *AEPS* alcanzando el objetivo de lograr un diseño modular del sensor y sus componentes garantizando que se pueda llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo de manera más rápida y costeable al poder llevar a cabo el abastecimiento de sus componentes dentro del mercado nacional.

En el capítulo VI se presentó una propuesta de integración de los componentes diseñados en los capítulos III y IV con los componentes existentes en el mercado descritos en el capítulo V. Esta integración se planteó a nivel gabinete para cada uno de los equipos, así como la distribución de los componentes que los integran. Estos gabinetes se idearon, de forma tal que permitan un acceso directo y de fácil mantenimiento.

El objetivo alcanzado por esta tesis fue el planteamiento de la base teórica en torno a los principios de operación de los equipos de perfusión, iniciando con esto el camino para poder integrar, construir y comercializar estos equipos en el ámbito nacional aprovechando las condiciones actuales de la economía. El marco teórico desarrollado podrá también dar lugar a mejoras en cuanto a la capacidad operativa y funcional del sistema de perfusión y permitirá buscar alternativas para el bombeo y tratamiento de los flujos sanguíneos.

Una vez finalizados los capítulos podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- 1- Se logró conjuntar la información de diseño del circuito eléctrico tanto del intercambiador de temperatura como de la bomba de rodillos para ser integrados y construidos en nuestro país utilizando los recursos locales de mano de obra y componentes electrónicos de venta en el mercado nacional.
- 2- Tomando ventaja de la situación nacional en términos de la gran presencia de compañías dedicadas a la maquila de componentes electrónicos, eventualmente la construcción de estos equipos puede alcanzar costos de producción más bajos que la de los equipos fabricados en otros países al alcanzar los niveles de producción que permitan la amortización de la inversión inicial al incrementar un número significativo de unidades construidas.

- 3- A pesar de no haber efectuado la fabricación de un prototipo del sistema de perfusión creemos que éste puede llegar a competir con cualquiera existente en el mercado en términos de funcionalidad y confiabilidad ya que muchas de las consideraciones de diseño se hicieron en base de las características ofrecidas por otros sistemas, enfocándose dicho diseño en crear un sistema que pueda presentar una propuesta de valor igual o superior a los existentes. Se deja, entonces, la presente propuesta de diseño para inversionistas, tanto del sector público como privado, que deseen, en un momento dado, consolidar lo aquí expuesto.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Benson Harris. *University Physics*. Estados Unidos de Norte América. John Wiley and Sons, Inc. Primera edición. 1996.

Boylestad Robert, Luis Nashelsky. *Electrónica Teoría de circuitos*. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Cuarta edición. 1989.

Cooper William David. *Instrumentación electrónica y mediciones*. México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Primera edición. 1982.

Couglin Robert F., Driscoll Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Cuarta edición. 1993.

De la Torre Martínez Ángel. *Curso de Electrónica Digital*. España. Ediciones Aura. Primera Edición. 1988.

Gray Paul R., Meyer Robert G. *Análisis y diseño de Circuitos Integrados Analógicos*. México. Prentice Hall Hispanoamericana SA. Tercera Edición. 1993.

Holman J.P.. *Métodos Experimentales Para Ingenieros*. México. Mc Graw-Hill. Primera Edición. 1981

Horenstein Mark N. *Microelectronic Circuits and Devices*. Estados Unidos de Norte América. Prentice Hall, Inc. Segunda Edición. 1996.

Marchais J.C. *El amplificador Operacional y sus Aplicaciones*. España. Editorial Marcombo. Cuarta reimpresión. 1986

McCarthy Furnas, Joe. *El ingeniero*. México. Lito Offset Latina, S.A. Primera edición. 1979

Morris Mano M. *Diseño Digital*. México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., Primer Edición, 1987.

Rashid Muhamed H. *"Power Electronics, Circuits, Devices and Applications."* Estados Unidos de Norte America, Prentice-Hall, Inc. Segunda Edición. 1988.

Ryder John D.. *Electrónica fundamentos y aplicaciones*. España. Editorial Aguilar. Quinta Edición. 1972.

Tocci Ronald J.. *Digital systems principles and applications*. Estados Unidos de Norteamérica. Macmillan Publishing Company. Sexta Edición. 1995.

Tocci Ronald J.. *Fundamentals of Pulse and Digital Circuits*. Estados Unidos de Norteamérica. Macmillan Publishing Company. Tercera Edición. 1983.

Wolf Stanley. *Guía para Mediciones Electrónicas y Practicas de Laboratorio*. México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Primera Edición. 1980.

Pallas Areny Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. España. Editorial Marcombo, S.A. Segunda Edición. 1994.

Huang Francis F. *Termodinámica fundamentos y aplicaciones*. México. Editorial Continental S.A. de C.V. Segunda Edición. 1994.

Manuales.

Dicopel. *Guía de Compras Dicopel G-11*. México. Dicopel.

Dorlan. *Diccionario Enciclopédico Ilustrado de Medicina*. Volumen I y II. España. Editorial Interamericana Mc Graw-Hill. Novena Edición. 1992.

Mosby. *Enciclopedia Mosby de Medicina y Enfermería*. Tomo I, III y V. España. Editorial Océano. 1995.

Motorola. *Fast and LS TTI*. Estados Unidos. Motorola Inc. Quinta edición. 1992.

Motorola. *Linear / Interface Ics Device Data*. Estados Unidos de Norte America. Primera impresión. Motorola Inc. 1993.

Piñeirio González Ramón y otros. *Diccionario de Ciencias de la Salud*. España. Editorial Mc Graw-Hill. Primera Edición 1995.

Salvat. *Diccionario Médico*. España. Salvat Editores S.A. Segunda Edición. 1974.

Turck. *Detectores 1*. Primera Edición. 1990.

Internet.

<http://www.microchip.com>

<http://www.motorola.com>

<http://www.national.com>

Apéndice A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Anemia.- Reducción por debajo del límite normal del número de eritrocitos (glóbulos rojos o hematíes) por mm^3 , de la concentración de hemoglobina (Materia colorante de los hematíes que contiene el hierro de la sangre) o del volumen de eritrocitos por desequilibrio entre la producción o destrucción de estas células.

Arteriosclerosis.- Dureza o engrosamiento anormales de las arterias.

Aurícula.- Cada una de las dos cavidades, derecha e izquierda, en la parte superior del corazón que reciben la sangre de las venas.

Arteria.- Vaso sanguíneo que lleva sangre a estructuras corporales desde el corazón.

Cavidad torácica.- Pecho. Porción del tronco entre el cuello y el abdomen y cavidad limitada por el esternón, costillas y columna vertebral por los lados y arriba y hacia abajo por el diafragma.

Capilar.- Vaso sanguíneo microscópico localizado entre las *arteriolas* y las *vénulas*, en que tiene lugar el intercambio de materiales entre la sangre y las células de los tejidos.

Cardioplegia congénita.- Parálisis cardíaca hereditaria. Traumatismo (término general que comprende todas las lesiones internas o externas provocadas por una violencia exterior) directo del corazón hereditario.

Cardioplegia, solución de.- Mezcla de distintas sustancias y compuestos, sobre todo potasio que aplicada al tejido miocárdico lo inducen al paro. La cardioplegia puede ser cristalóide cuando únicamente se utiliza la solución de potasio o sanguínea cuando dicha solución se mezclan con la sangre del paciente.

Catéter.- Instrumento tubular quirúrgico para el desagüe de líquidos de una cavidad o para dilatar un paso o conducto. Sonda.

Circulación cruzada.- Circulación en una parte del cuerpo de un animal con sangre proporcionada por otro animal.

Circulación pulmonar.- Circulación sanguínea por los pulmones(menor).

Circulación sistémica.- General o Mayor. Circulación sanguínea por todo el cuerpo menos por el pulmón.

Ciclo cardíaco.- Periodo comprendido entre dos latidos cardíacos; consisten en una sístole y una diástole de ambas aurículas más sus similares de los ventrículos.

Circulación extracorpórea.- Es el proceso mediante el cual se desvía la sangre venosa que, en condiciones normales llega al corazón, hacia un circuito externo en el cual se emula la actividad cardíaca y pulmonar por medios mecánicos, para finalmente regresar el fluido por vía arterial aórtica.

Diástole.- En el ciclo cardíaco, la fase de relajación o dilatación del miocardio, en especial ventricular.

Edema.- Acumulamiento anormal de líquido en los tejidos cerebrales.

Elementos nerviosos.- Parte principal o constitutiva de relativa a un nervio o nervios.

Electrolito.- Cualquier compuesto que se separa en iones cuando se disuelve en agua y que conduce la electricidad.

Embolia.- Obstrucción brusca de un vaso, especialmente una arteria, por un cuerpo arrastrado por la corriente sanguínea.

Embolia gaseosa.- Embolia producida por una burbuja de aire o gases.

Enzima.- Sustancia que afecta la velocidad de las reacciones químicas; catalizador orgánico por lo general de una proteína.

Esterilización.- Destrucción de todos los microorganismos contenidos en una parte u objeto cualquiera por métodos físicos (calor, presión, etc.) o química (antisépticos); desinfección asepsia, antisepsia.

Fibras musculares.- Elemento anatómico constitutivo del músculo; se distinguen en lisas y estriadas.

Fibrina.- Proteína insoluble que es indispensable para la coagulación sanguínea; se forma a partir del fibrinógeno por acción de la trombina.

Fibrinógeno.- Proteína de alto peso molecular del plasma sanguíneo, que se convierte en fibrina por acción de la trombina.

Glándula endocrina.- La encargada de secretar hormonas en la sangre.

Hematócrito.- Expresión del porcentaje del volumen sanguíneo que corresponde a las células. Es usual que se calcule centrifugando una muestra de sangre en un tubo graduado, para después leer los volúmenes de células y total de sangre.

Hemodiálisis.- Eliminación de algunos elementos de la sangre por virtud de la diferencia en el índice de difusión a través de una membrana semi-permeable; por ejemplo, la de un riñón artificial.

Hemodilución.- Aumento del volumen del plasma en relación al de los glóbulos rojos.

Hemólisis.- Salida de la hemoglobina, del interior de los eritrocitos al medio circundante; es resultado de la interrupción de la integridad de la membrana plasmática como resultado de la presencia de toxinas o fármacos, congelamiento, descongelamiento o soluciones hipotónicas.

Heparina.- Agente anticoagulante natural que actúa junto con la antitrombina para evitar la activación del fibrinógeno por parte de trombina.

Hipertensión.- Elevación anormal de la presión en vasos sanguíneos.

Hipotermia.- Temperatura corporal anormalmente baja; en operaciones quirúrgicas se refiere al enfriamiento deliberado del cuerpo del paciente para desacelerar su metabolismo y reducir las necesidades tisulares de oxígeno.

Infarto.- Presencia de un área localizada de tejido necrótico como resultado de su oxigenación insuficiente (isquemia).

Infarto al/del miocardio.- Necrosis microscópica del tejido miocárdico a causa de la interrupción de su riego sanguíneo.

Isquemia.- Detección de la circulación arterial en una parte y esto consecutivo de la misma.

Leucemia.- Enfermedad grave caracterizada por el aumento permanente del número de leucocitos hemáticos y la hipertrofia y proliferación de uno o varios tejidos linfoides, bazo, ganglios linfáticos, medula ósea. Entre los síntomas primordiales destacan las hemorragias, anemia y postración progresiva.

Líquido intersticial.- Fluido que rodea los espacios microscópicos que hay entre las células.

Metabolismo.- Suma de cambios químicos que consuman la función nutritiva. Consta de anabolismo, proceso en virtud del cual los organismos vivos incorporan a su propia materia viva sustancias que toman del medio ambiente, y catabolismo, fenómeno que se caracteriza por la desintegración continua de su protoplasma.

Melanoma.- Nombre genérico de los tumores melánicos o pigmentados.

Neutrófilos.- (o leucocito polimorfonuclear) Tipo de leucocito que se caracteriza por su citoplasma granuloso y que se tiñe fácilmente con reactivos ácidos o básicos.

Normotermia.- Temperatura normal.

Patología.- Rama de la medicina que estudia las enfermedades y los trastornos que producen en el organismo; nosología.

Perfusión.- Procedimiento clínico que consiste en irrigar con sangre oxigenada, ya sea a un órgano o a un tejido, con la finalidad de oxigenarlo, nutrirlo y al mismo tiempo eliminar el bióxido de carbono y los desechos, producto del metabolismo; para así mantenerlo vivo.

Perfusión tisular por estasis.- La etiología (parte de la medicina que tiene por objeto el estudio de las causas de las enfermedades) puede deberse a la interrupción circulación venosa o arterial propia de la zona afectada, hipovolemia (disminución del volumen total de sangre) o hipervolemia (mayor volumen de sangre), o cualquier situación que provoque un anormal intercambio de líquidos y nutrientes entre las células y el torrente circulatorio. Los signos característicos es frialdad en la extremidad afectada, palidez con la extremidad elevada, pulsos arteriales disminuidos, cambios en la presión arterial en la extremidad afectada.

Plaqueta.- (Trombocito) Fragmento de citoplasma envuelto por la membrana plasmática y que carece de núcleo; presente en la sangre circulante y con funciones clave en el proceso de coagulación.

pH.- Símbolo con el que se designa una medida de la concentración de iones hidrógeno en una solución. La escala del pH comprende del 0 al 14, en el que el valor 7 expresa neutralidad; los valores menores de 7 corresponden a acidez cada vez mayor y, los que rebasan el 7 expresan alcalinidad creciente.

Proteína.- Compuesto orgánico consistente en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, y en ocasiones azufre y fósforo; lo forman aminoácidos unidos por cadenas peptídicas.

Protamina.- Cualquier miembro de una clase de proteínas básicas de peso molecular bajo, que se encuentran en combinación con ácidos nucleicos en el esperma del salmón y en algunos otros peces. Tienen la propiedad de neutralizar la heparina.

Protrombina.- Proteína inactiva que se sintetiza en el hígado, que la libera en la sangre, y se convierte a trombina activa en el curso de la coagulación.

Revascularización.- Proceso de restauración de las vías de irrigación local cardíaca por medios quirúrgicos o de angioplastia.

Reservorio de sangre.- Lugar o cavidad para almacenamiento de sangre.

Sepsis.- Infección debida a la presencia en la sangre y otros tejidos de microorganismos patógenos.

Sistema ABO (grupo sanguíneo).- Uno de los sistemas existentes, el más importante de clasificación de sangre humana según los componentes antigénicos de los hematíes. El grupo sanguíneo ABO se identifica por la presencia o ausencia de dos antígenos diferentes.

Sistema alvéolo capilar.- Colección o reunión de partes que, unificadas, constituyen un todo. Los sistemas fisiológicos como el cardiovascular o el reproductor, constan de estructuras que intervienen específicamente en procesos esenciales para una función vital del organismo.

Sistemas fisiológicos.- Los sistemas fisiológicos como el cardiovascular constan de estructuras que intervienen en procesos esenciales para una función vital del organismo.

Sístole.- Fase de relajación ya sea auricular o ventricular del ciclo cardíaco.

Soplo.- Sonido suave percibido por auscultación en diversas regiones del cuerpo, casi siempre patológico, que recuerda el producido al proyectar a través de un tubo, el aire expirado. Soplo Cardiopulmonar o Cardiorespiratorio: el ruido generado dentro del tejido pulmonar y relacionado con los movimientos del corazón.

Técnicas profilácticas.- Técnicas de prevención.

Tejido Fibroso.- Tejido conjuntivo ordinario del cuerpo, constituido principalmente por fibras amarillas y blancas.

Trombosis.- Proceso de formación o desarrollo de un coágulo sanguíneo en el interior de un vaso que permanece en el punto de su formación.

Válvula tricúspide.- Dícese de una de las válvulas del corazón.

Válvula mitral.- Dícese de una de las válvulas del corazón

Vena.- Vaso sanguíneo que regresa sangre de los tejidos, al corazón.

Ventriculo.- Cada una de las dos cavidades inferiores, derecha e izquierda, del corazón que reciben la sangre de las aurículas y la envían por la arteria pulmonar a los pulmones y por la aorta a todo el organismo.

Vénula.- Vena de poco calibre que drena sangre de los capilares y la vacía en una vena.

Algoritmo.- Conjunto específico de reglas definidas para los procesos matemáticos y/o lógicos que se requieren en la solución de un problema en un número finito de pasos.

Efecto Doppler.- Cambio que experimenta la frecuencia de las ondas sonoras, luminosas o radio eléctricas cuando la fuente que las origina se aleja o se acerca del observador o receptor.

Motor de ciclo otto.- Es el que se emplea para aproximarse al funcionamiento de un motor de combustión interna encendido por chispa en el cual lo constituyen cuatro procesos reversibles.

Apéndice B

HOJAS DE ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

PIC16C71X	<i>8-Bit CMOS Microcontrollers with A/D Converter</i>
LM2576/LM2576HV	<i>SIMPLE SWITCHER® Step-Down Voltage Regulator</i>
LM747	<i>Dual Operational Amplifier</i>
2N2907A	<i>Transistor PNP</i>
2N2222	<i>Transistor NPN</i>
SN54/74LS138	<i>1-of-8 Decoder/Demultiplexer</i>
SN54/74LS161A	<i>BCD Decade counter/4-bit counter</i>
SN54/74LS273	<i>Octal D Flip-Flop with clear</i>
LM555	<i>Timer</i>
MC78T05	<i>Regulador de Voltaje a 1 Amp., +5 VCD</i>
MC7812	<i>Regulador de Voltaje a 1 Amp., 12 VCD</i>
MC7824	<i>Regulador de Voltaje a 1 Amp., 24 VCD</i>



PIC16C71X

8-Bit CMOS Microcontrollers with A/D Converter

Devices Included in this data sheet:

- PIC16C710
- PIC16C71
- PIC16C711
- PIC16C715

PIC16C71X Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 2K x 14 words of Program Memory, up to 128 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
- Interrupt capability
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect, and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS EPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range: 2.5V to 6.0V
- High Sink/Source Current 25/25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Program Memory Parity Error Checking Circuitry with Parity Error Reset (PER) (PIC16C715)
- Low-power consumption:
 - < 2 mA @ 5V, 4 MHz
 - 15 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 μ A typical standby current

PIC16C71X Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- 8-bit multichannel analog-to-digital converter
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)
- 13 I/O Pins with Individual Direction Control

PIC16C7X Features	710	71	711	715
Program Memory (EPROM) x 14	512	1K	1K	2K
Data Memory (Bytes) x 8	36	36	68	128
I/O Pins	13	13	13	13
Timer Modules	1	1	1	1
A/D Channels	4	4	4	4
In-Circuit Serial Programming	Yes	Yes	Yes	Yes
Brown-out Reset	Yes	—	Yes	Yes
Interrupt Sources	4	4	4	4

Pin Diagrams

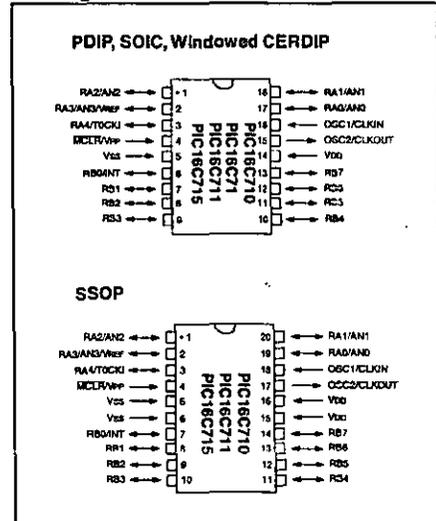


TABLE 3-1: PIC16C710/711/715 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SSOP Pin# ⁽⁴⁾	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	18	16	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	17	15	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/Vpp	4	4	4	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input. This pin is an active low reset to the device.
RA0/AN0	17	19	17	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0</p> <p>RA1 can also be analog input1</p> <p>RA2 can also be analog input2</p> <p>RA3 can also be analog input3 or analog reference voltage</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.</p>
RA1/AN1	18	20	18	I/O	TTL	
RA2/AN2	1	1	1	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF	2	2	2	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	3	3	3	I/O	ST	
RB0/INT	6	7	6	I/O	TTU/ST ⁽¹⁾	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>Interrupt on change pin.</p> <p>Interrupt on change pin.</p> <p>Interrupt on change pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt on change pin. Serial programming data.</p>
RB1	7	8	7	I/O	TTL	
RB2	8	9	8	I/O	TTL	
RB3	9	10	9	I/O	TTL	
RB4	10	11	10	I/O	TTL	
RB5	11	12	11	I/O	TTL	
RB6	12	13	12	I/O	TTU/ST ⁽²⁾	
RB7	13	14	13	I/O	TTU/ST ⁽²⁾	
Vss	5	4, 6	5	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	14	15, 16	14	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.
 Note 4: The PIC16C71 is not available in SSOP package.

PIC16C71X

Applicable Devices 710 711 711 715

15.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR PIC16C71

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias.....	-55 to +125°C
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V _{SS} (except V _{DD} , MCLR, and RA4).....	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)
Voltage on V _{DD} with respect to V _{SS}	-0.3 to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to V _{SS} (Note 2).....	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to V _{SS}	0 to +14V
Total power dissipation (Note 1).....	.800 mW
Maximum current out of V _{SS} pin.....	150 mA
Maximum current into V _{DD} pin.....	100 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > V _{DD}).....	± 20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > V _{DD}).....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	.25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin.....	.20 mA
Maximum current sunk by PORTA.....	.80 mA
Maximum current sourced by PORTA.....	.50 mA
Maximum current sunk by PORTB.....	.150 mA
Maximum current sourced by PORTB.....	100 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum (V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

Note 2: Voltage spikes below V_{SS} at the MCLR pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the MCLR pin rather than pulling this pin directly to V_{SS}.

NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TABLE 15-1: CROSS REFERENCE OF DEVICE SPECS FOR OSCILLATOR CONFIGURATIONS AND FREQUENCIES OF OPERATION (COMMERCIAL DEVICES)

OSC	PIC16C71-04	PIC16C71-20	PIC16C71-04	JW Devices
RC	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 3.3 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μA max. at 4V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 1.8 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μA typ. at 4V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 3.0V to 6.0V I _{DD} : 1.4 mA typ. at 3.0V I _{PD} : 0.6 μA typ. at 3V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 3.3 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μA max. at 4V Freq: 4 MHz max.
XT	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 3.3 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μA max. at 4V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 1.8 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μA typ. at 4V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 3.0V to 6.0V I _{DD} : 1.4 mA typ. at 3.0V I _{PD} : 0.6 μA typ. at 3V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 3.3 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μA max. at 4V Freq: 4 MHz max.
HS	V _{DD} : 4.5V to 6.5V I _{DD} : 19.5 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μA typ. at 4.5V Freq: 4 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 30 mA max. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μA typ. at 4.5V Freq: 20 MHz max.	Not recommended for use in HS mode	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 30 mA max. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μA typ. at 4.5V Freq: 20 MHz max.
LP	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 15 μA typ. at 32 kHz, 4.0V I _{PD} : 0.6 μA typ. at 4.0V Freq: 200 kHz max.	Not recommended for use in LP mode	V _{DD} : 3.0V to 6.0V I _{DD} : 32 μA max. at 32 kHz, 3.0V I _{PD} : 9 μA max. at 3.0V Freq: 200 kHz max.	V _{DD} : 3.0V to 6.0V I _{DD} : 32 μA max. at 32 kHz, 3.0V I _{PD} : 9 μA max. at 3.0V Freq: 200 kHz max.

The shaded sections indicate oscillator selections which are tested for functionality, but not for MIN/MAX specifications. It is recommended that the user select the device type that ensures the specifications required.

PIC16C71X

Applicable Devices **710** **71** **711** **715**

15.1 DC Characteristics: PIC16C71-04 (Commercial, Industrial) PIC16C71-20 (Commercial, Industrial)

DC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)					
		Operating temperature 0°C ≤ TA ≤ +70°C (commercial) -40°C ≤ TA ≤ +85°C (industrial)					
Param No.	Characteristic	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
D001 D001A	Supply Voltage	VDD	4.0 4.5	-	6.0 5.5	V V	XT, RC and LP osc configuration HS osc configuration
D002*	RAM Data Retention Voltage (Note 1)	VDR	-	1.5	-	V	
D003	VDD start voltage to ensure internal Power-on Reset signal	VPOR	-	VSS	-	V	See section on Power-on Reset for details
D004*	VDD rise rate to ensure internal Power-on Reset signal	SVDD	0.05	-	-	V/ms	See section on Power-on Reset for details
D010 D013	Supply Current (Note 2)	IDD	-	1.8 13.5	3.3 30	mA mA	XT, RC osc configuration FOSC = 4 MHz, VDD = 5.5V (Note 4) HS osc configuration FOSC = 20 MHz, VDD = 5.5V
D020 D021 D021A	Power-down Current (Note 3)	IPD	-	7 1.0 1.0	28 14 16	μA μA μA	VDD = 4.0V, WDT enabled, -40°C to +85°C VDD = 4.0V, WDT disabled, -0°C to +70°C VDD = 4.0V, WDT disabled, -40°C to +85°C

* These parameters are characterized but not tested.

Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered without losing RAM data.

2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors such as I/O pin loading and switching rate, oscillator type, internal code execution pattern, and temperature also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail to rail; all I/O pins tristated, pulled to VDD

MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

3: The power-down current in SLEEP mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in SLEEP mode, with all I/O pins in hi-impedance state and tied to VDD and VSS.

4: For RC osc configuration, current through Rext is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_r = VDD/2R_{ext}$ (mA) with Rext in kOhm.

PIC16C71X

Applicable Devices 710|71|711|715

15.3 DC Characteristics: PIC16C71-04 (Commercial, Industrial)
 PIC16C71-20 (Commercial, Industrial)
 PIC16LC71-04 (Commercial, Industrial)

DC CHARACTERISTICS							Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature 0°C ≤ TA ≤ +70°C (commercial) -40°C ≤ TA ≤ +85°C (industrial) Operating voltage VDD range as described in DC spec Section 15.1 and Section 15.2.	
Param No.	Characteristic	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions	
D030	Input Low Voltage I/O ports	V _{IL}						
	with TTL buffer		V _{SS}	-	0.15V	V	For entire VDD range	
D031	with Schmitt Trigger buffer		V _{SS}	-	0.8V	V	4.5 ≤ VDD ≤ 5.5V	
D032	MCLR, OSC1 (in RC mode)		V _{SS}	-	0.2VDD	V		
D033	OSC1 (in XT, HS and LP)		V _{SS}	-	0.3VDD	V	Note1	
D040	Input High Voltage I/O ports (Note 4)	V _{IH}						
	with TTL buffer		2.0	-	VDD	V	4.5 ≤ VDD ≤ 5.5V	
D040A			0.25VDD + 0.8V	-	VDD	V	For entire VDD range	
D041	with Schmitt Trigger buffer		0.85VDD	-	VDD	V	For entire VDD range	
D042	MCLR, RB0/INT		0.85VDD	-	VDD	V		
D042A	OSC1 (XT, HS and LP)		0.7VDD	-	VDD	V	Note1	
D043	OSC1 (in RC mode)		0.9VDD	-	VDD	V		
D070	PORTB weak pull-up current	IPURB	50	250	400	µA	VDD = 5V, VPIN = VSS	
D060	Input Leakage Current (Notes 2, 3) I/O ports	I _{IL}	-	-	±1	µA	VSS ≤ VPIN ≤ VDD, Pin at hi-impedance	
D061	MCLR, RA4/T0CK1		-	-	±5	µA	VSS ≤ VPIN ≤ VDD	
D063	OSC1		-	-	±5	µA	VSS ≤ VPIN ≤ VDD, XT, HS and LP osc configuration	
D080	Output Low Voltage I/O ports	V _{OL}	-	-	0.6	V	IOL = 8.5mA, VDD = 4.5V, -40°C to +85°C	
D083	OSC2/CLKOUT (RC osc config)		-	-	0.6	V	IOL = 1.6mA, VDD = 4.5V, -40°C to +85°C	
D090	Output High Voltage I/O ports (Note 3)	V _{OH}	VDD - 0.7	-	-	V	I _{OH} = -3.0mA, VDD = 4.5V, -40°C to +85°C	
D092	OSC2/CLKOUT (RC osc config)		VDD - 0.7	-	-	V	I _{OH} = -1.3mA, VDD = 4.5V, -40°C to +85°C	
D130*	Open-Drain High Voltage	V _{OD}	-	-	14	V	RA4 pin	

Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

- Note 1: In RC oscillator configuration, the OSC1 pin is a Schmitt trigger input. It is not recommended that the PIC16C71 be driven with external clock in RC mode.
- 2: The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
- 3: Negative current is defined as current sourced by the pin.
- 4: PIC16C71 Rev. "Ax" INT pin has a TTL input buffer. PIC16C71 Rev. "Bx" INT pin has a Schmitt Trigger input buffer.

PIC16C71X

Applicable Devices 710 71 711 715

DC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)					
		Operating temperature $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ (commercial) $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ (industrial) Operating voltage VDD range as described in DC spec Section 15.1 and Section 15.2.					
Param No.	Characteristic	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
D100	Capacitive Loading Specs on Output Pins OSC2 pin	Cosc2			15	pF	In XT, HS and LP modes when external clock is used to drive OSC1.
D101	All I/O pins and OSC2 (in RC mode)	Cio			50	pF	

Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

- Note 1: In RC oscillator configuration, the OSC1 pin is a Schmitt trigger input. It is not recommended that the PIC16C71 be driven with external clock in RC mode.
- The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
 - Negative current is defined as current sourced by the pin.
 - PIC16C71 Rev. "Ax" INT pin has a TTL input buffer. PIC16C71 Rev. "Bx" INT pin has a Schmitt Trigger input buffer.

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed 4% tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and 10% on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μ A (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version) 4% max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)

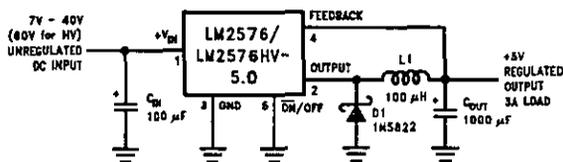
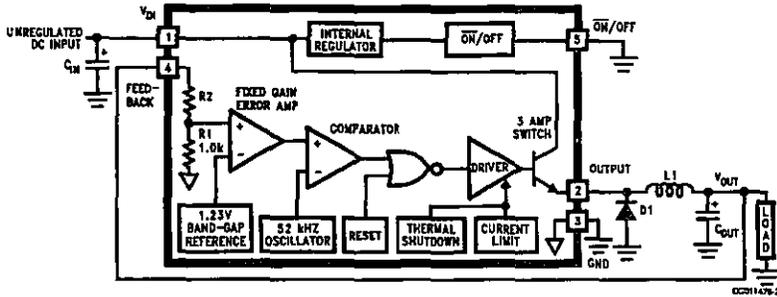


FIGURE 1.

DS011476-1

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Block Diagram



3.3V, R2 = 1.7k
 5V, R2 = 3.1k
 12V, R2 = 6.84k
 15V, R2 = 11.3k
 For ADJ. Version
 R1 = Open, R2 = 0Ω
 Patent Pending

Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type
	3.3	5.0	12	15	ADJ		
-40°C ≤ T _A ≤ 125°C	LM2576HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	TSSB	TO-263
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ	TSSB	
	LM2576HV SX-3.3	LM2576HV SX-5.0	LM2576HV SX-12	LM2576HV SX-15	LM2576HV SX-ADJ	TSSB	Tape & Reel
	LM2576S SX-3.3	LM2576S SX-5.0	LM2576S SX-12	LM2576S SX-15	LM2576S SX-ADJ		
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05A	TO-220
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D		
Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			
LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ			
Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			

LM2576-12, LM2576HV-12 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-15, LM2576HV-15 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.60/15.75	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.68/15.83	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Feedback Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)

LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ

Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_j = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.273/1.286	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$, $V_{OUT} = 5\text{V}$	77		%

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

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, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5\text{V}$ (Adjustable Version Only)	50	100/500	nA
f_o	Oscillator Frequency	(Note 11)	52	47/42 58/63	kHz kHz (Min) kHz (Max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ (Note 4)	1.4	1.8/2.0	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	(Note 5)	98	93	% %(Min)
I_{CL}	Current Limit	(Notes 4, 11)	5.8	4.2/3.5 6.9/7.5	A A(Min) A(Max)
I_L	Output Leakage Current	(Notes 6, 7): Output = 0V Output = -1V Output = -1V	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
I_Q	Quiescent Current	(Note 6)	5	10	mA mA(Max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	ON/OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	μA μA (Max)
θ_{JA}	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient (Note 8)	65		°C/W
θ_{JA}		T Package, Junction to Ambient (Note 9)	45		
θ_{JC}		T Package, Junction to Case	2		
θ_{JA}		S Package, Junction to Ambient (Note 10)	50		

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (Continued)

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, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
ON/OFF CONTROL Test Circuit Figure 2					
V_{DI}	ON/OFF Pin	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	2.2/2.4	V(Min)
V_{IL}	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	1.0/0.8	V(Max)
I_{IN}	ON/OFF Pin Input Current	ON/OFF Pin = 5V (OFF)	12	30	μA
		ON/OFF Pin = 0V (ON)	0	10	μA
I_L					μA (Max)

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: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

Note 3: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in the Figure 2 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

Note 4: Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.

Note 5: Feedback pin removed from output and connected to 0V.

Note 6: Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.

Note 7: $V_{IN} = 40\text{V}$ (60V for high voltage version).

Note 8: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.

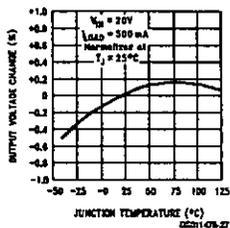
Note 9: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.

Note 10: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W , with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W , and with 1.5 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W .

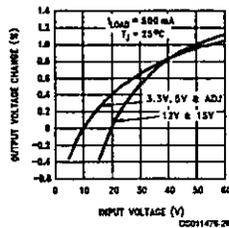
Note 11: The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2)

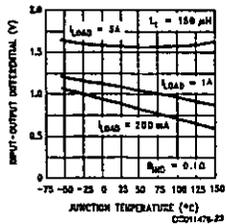
Normalized Output Voltage



Line Regulation



Dropout Voltage



LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

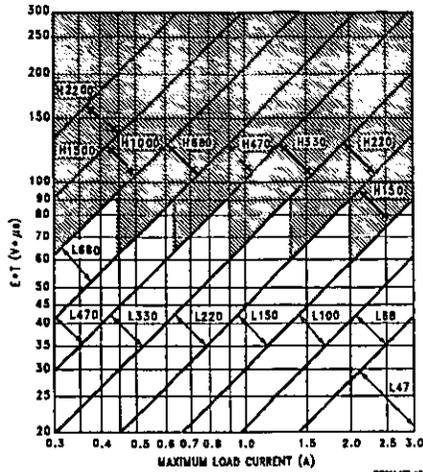


FIGURE 7. LM2576(HV)-ADJ

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage $V_{IN}(\text{Max})$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD}(\text{Max})$ = Maximum Load Current F = Switching Frequency (Fixed at 52 kHz)</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2, as shown in Figure 2) Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V$ <p>R_1 can be between 1k and 5k. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors)</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p>Given: $V_{OUT} = 10V$ $V_{IN}(\text{Max}) = 25V$ $I_{LOAD}(\text{Max}) = 3A$ $F = 52 \text{ kHz}$</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2)</p> $V_{OUT} = 1.23 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Select } R_1 = 1k$ $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{10V}{1.23V} - 1 \right)$ $R_2 = 1k (8.13 - 1) = 7.13k, \text{ closest } 1\% \text{ value is } 7.15k$

LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)

2. Inductor Selection (L1)

A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant, $E \cdot T$ ($V \cdot \mu s$), from the following formula:

$$E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \frac{1000}{F (\text{kHz})} (V \cdot \mu s)$$

B. Use the $E \cdot T$ value from the previous formula and match it with the $E \cdot T$ number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in *Figure 7*.

C. On the horizontal axis, select the maximum load current.

D. Identify the inductance region intersected by the $E \cdot T$ value and the maximum load current value, and note the inductor code for that region.

E. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in *Figure 8*. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of $1.15 \times I_{LOAD}$. For additional inductor information, see the inductor section in the application hints section of this data sheet.

3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})

A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominant pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:

$$C_{OUT} \geq 13,300 \frac{V_{IN}(\text{Max})}{V_{OUT} \cdot L(\mu H)} (\mu F)$$

The above formula yields capacitor values between 10 μF and 2200 μF that will satisfy the loop requirements for stable operation. But to achieve an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.

B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 10V regulator, a rating of at least 15V or more is recommended. Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rate for a higher voltage than would normally be needed.

4. Catch Diode Selection (D1)

A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output. See diode selection guide in *Figure 8*.

B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.

5. Input Capacitor (C_{IN})

An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.

EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)

2. Inductor Selection (L1)

A. Calculate $E \cdot T$ ($V \cdot \mu s$)

$$E \cdot T = (25 - 10) \frac{10}{25} \frac{1000}{52} = 115 V \cdot \mu s$$

B. $E \cdot T = 115 V \cdot \mu s$

C. $I_{LOAD}(\text{Max}) = 3A$

D. Inductance Region = H150

E. Inductor Value = 150 μH Choose from AIE part #415-0936 Pulse Engineering part #PE-531115, or Renco part #RL2445.

3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})

$$C_{OUT} > 13,300 \frac{25}{10 \cdot 150} = 22.2 \mu F$$

However, for acceptable output ripple voltage select

$C_{OUT} \geq 680 \mu F$

$C_{OUT} = 680 \mu F$ electrolytic capacitor

4. Catch Diode Selection (D1)

A. For this example, a 3.3A current rating is adequate.

B. Use a 30V 31DQ03 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes in *Figure 8*.

5. Input Capacitor (C_{IN})

A 100 μF aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.

LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

To further simplify the buck regulator design procedure, National Semiconductor is making available computer design software to be used with the SIMPLE SWITCHER line of switching regulators. Switchers Made Simple (Version 3.3) is available on a (3 1/4") diskette for IBM compatible computers from a National Semiconductor sales office in your area.

V _R	Schottky		Fast Recovery	
	3A	4A-6A	3A	4A-6A
20V	1N5820 MBR320P SR302	1N5823	The following diodes are all rated to 100V 31DF1 HER302	The following diodes are all rated to 100V 50WF10 MUR410 HER602
30V	1N5821 MBR330 31DQ03 SR303	50WQ03 1N5824		
40V	1N5822 MBR340 31DQ04 SR304	MBR340 50WQ04 1N5825		
50V	MBR350 31DQ05 SR305	50WQ05		
60V	MBR360 DQ06 SR306	50WR06 50SQ060		

FIGURE 8. Diode Selection Guide

Inductor Code	Inductor Value	Schott (Note 12)	Pulse Eng. (Note 13)	Renco (Note 14)
L47	47 μ H	671 26980	PE-53112	RL2442
L68	68 μ H	671 26990	PE-92114	RL2443
L100	100 μ H	671 27000	PE-92108	RL2444
L150	150 μ H	671 27010	PE-53113	RL1954
L220	220 μ H	671 27020	PE-52626	RL1953
L330	330 μ H	671 27030	PE-52627	RL1952
L470	470 μ H	671 27040	PE-53114	RL1951
L680	680 μ H	671 27050	PE-52629	RL1950
H150	150 μ H	671 27060	PE-53115	RL2445
H220	220 μ H	671 27070	PE-53116	RL2446
H330	330 μ H	671 27080	PE-53117	RL2447
H470	470 μ H	671 27090	PE-53118	RL1961
H680	680 μ H	671 27100	PE-53119	RL1960
H1000	1000 μ H	671 27110	PE-53120	RL1959
H1500	1500 μ H	671 27120	PE-53121	RL1958
H2200	2200 μ H	671 27130	PE-53122	RL2448

Note 12: Schott Corporation, (612) 475-1173, 1000 Parkers Lake Road, Wayzata, MN 55391.

Note 13: Pulse Engineering, (619) 674-8100, P.O. Box 12235, San Diego, CA 92112.

Note 14: Renco Electronics Incorporated, (516) 586-5568, 60 Jeffryn Blvd. East, Deer Park, NY 11769.

FIGURE 9. Inductor Selection by Manufacturer's Part Number

LM747 Dual Operational Amplifier

General Description

The LM747 is a general purpose dual operational amplifier. The two amplifiers share a common bias network and power supply leads. Otherwise, their operation is completely independent.

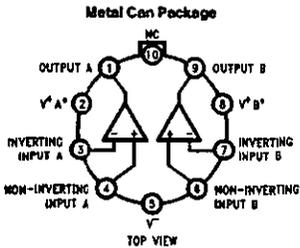
Additional features of the LM747 are: no latch-up when input common mode range is exceeded, freedom from oscillations, and package flexibility.

The LM747C/LM747E is identical to the LM747/LM747A except that the LM747C/LM747E has its specifications guaranteed over the temperature range from 0°C to +70°C instead of -55°C to +125°C.

Features

- No frequency compensation required
- Short-circuit protection
- Wide common-mode and differential voltage ranges
- Low power consumption
- No latch-up
- Balanced offset null

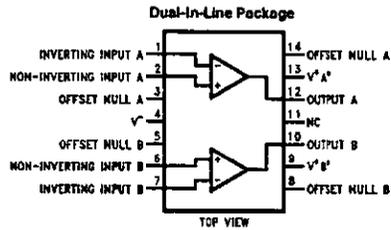
Connection Diagrams



TL/H/11479-4

Order Number LM747H
See NS Package Number H10C

*V⁺A and V⁺B are internally connected.



TL/H/11479-5

Order Number LM747CN or LM747EN
See NS Package Number N14A

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	
LM747/LM747A	±22V
LM747C/LM747E	±18V
Power Dissipation (Note 1)	800 mW
Differential Input Voltage	±30V

Input Voltage (Note 2)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	
LM747/LM747A	-55°C to +125°C
LM747C/LM747E	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM747A/LM747E			LM747			LM747C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_G \leq 50\Omega$		0.8	3.0	1.0	5.0		2.0	6.0		mV
	$R_S \leq 50\Omega$ $R_G \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0		6.0			7.5		mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	3.0 30			20 200			20 200			nA
		70			85 500			300			
Average Input Offset Current Drift		0.5									nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30 80			80 500			80 500			nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	0.210			1.5			0.8			μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12 ±13			V
		±12 ±13			±12 ±13						
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$	50									V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				50	200		20	200		V/mV
	$V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$	32									V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$				25			15			V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	±16 ±15									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				±12 ±10	±14 ±13		±12 ±10	±14 ±13		V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35	25			25			mA
		10	40								
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM747A/LM747E			LM747			LM747C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage Rejection Ratio	$V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20	0.3 5			0.3 5			μs %
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7		0.5			0.5			V/ μs
Supply Current/Amp	$T_A = 25^\circ\text{C}$			2.5	1.7	2.8		1.7	2.8		mA
Power Consumption/Amp	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW
LM747A	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{\text{AMIN}}$ $T_A = T_{\text{AMAX}}$			165 135							mW
LM747E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{\text{AMIN}}$ $T_A = T_{\text{AMAX}}$			150 150 150							mW
LM747	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{\text{AMIN}}$ $T_A = T_{\text{AMAX}}$				60 45	100 75					mW

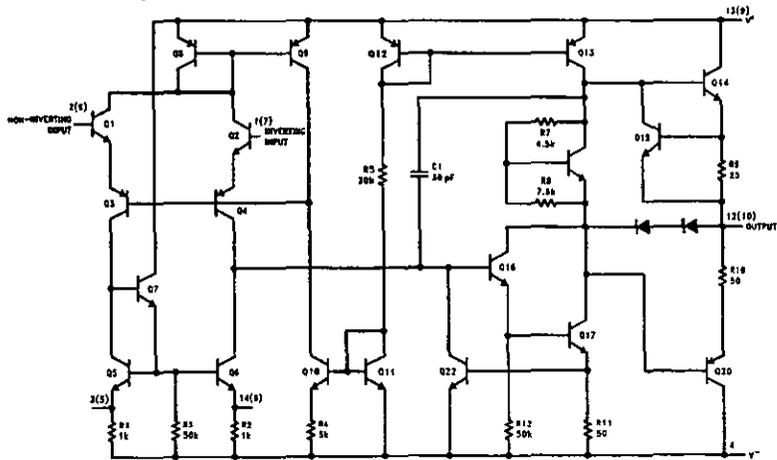
Note 1: The maximum junction temperature of the LM747C/LM747E is 100°C. For operating at elevated temperatures, values in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ for the LM747A and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ for the LM747E unless otherwise specified. The LM747 and LM747C are specified for $V_S = \pm 15V$ and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, respectively, unless otherwise specified.

Note 4: Calculated value from: $0.35/\text{Rise Time}$ (μs).

Schematic Diagram (Each Amplifier)

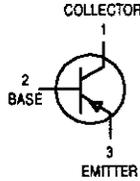


Note: Numbers in parentheses are pin numbers for amplifier B, DIP only.

TL/H/1147B-1

Amplifier Transistor
PNP Silicon

P2N2907A



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	-60	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	-60	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	-5.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	-600	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage ⁽¹⁾ ($I_C = -10$ mA dc, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	-60	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = -10$ mA dc, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	-60	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10$ mA dc, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	-5.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -30$ Vdc, $V_{EB(off)} = -0.5$ Vdc)	I_{CEX}	—	-50	nA dc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -50$ Vdc, $I_E = 0$) ($V_{CB} = -50$ Vdc, $I_E = 0$, $T_A = 150^\circ\text{C}$)	I_{CBO}	— —	-0.01 -10	$\mu\text{A dc}$
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -3.0$ Vdc)	I_{EBO}	—	-10	nA dc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -10$ V)	I_{CEO}	—	-10	nA dc
Base Cutoff Current ($V_{CE} = -30$ Vdc, $V_{EB(off)} = -0.5$ Vdc)	I_{BEX}	—	-50	nA dc

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

P2N2907A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = -0.1 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10 \text{ Vdc}$) ($I_C = -1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10 \text{ Vdc}$) ($I_C = -10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10 \text{ Vdc}$) ($I_C = -150 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10 \text{ Vdc}$)(1) ($I_C = -500 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10 \text{ Vdc}$)(1)	h_{FE}	75 100 100 100 50	— — — 300 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = -150 \text{ mAdc}$, $I_B = -15 \text{ mAdc}$) ($I_C = -500 \text{ mAdc}$, $I_B = -50 \text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	— —	-0.4 -1.6	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = -150 \text{ mAdc}$, $I_B = -15 \text{ mAdc}$) ($I_C = -500 \text{ mAdc}$, $I_B = -50 \text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	— —	-1.3 -2.6	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain — Bandwidth Product(1), (2) ($I_C = -50 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = -20 \text{ Vdc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	200	—	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = -10 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{obo}	—	8.0	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = -2.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{ibo}	—	30	pF

SWITCHING CHARACTERISTICS

Turn-On Time	$(V_{CC} = -30 \text{ Vdc}$, $I_C = -150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = -15 \text{ mAdc}$) (Figures 1 and 5)	t_{on}	—	50	ns
Delay Time		t_d	—	10	ns
Rise Time		t_r	—	40	ns
Turn-Off Time	$(V_{CC} = -6.0 \text{ Vdc}$, $I_C = -150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = I_{B2} = -15 \text{ mAdc}$) (Figure 2)	t_{off}	—	110	ns
Storage Time		t_s	—	80	ns
Fall Time		t_f	—	30	ns

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.
2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{fe}|$ extrapolates to unity.

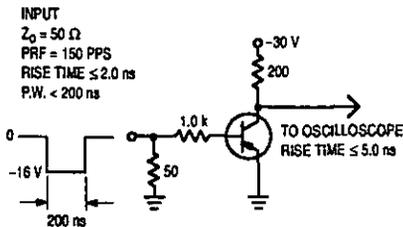


Figure 1. Delay and Rise Time Test Circuit

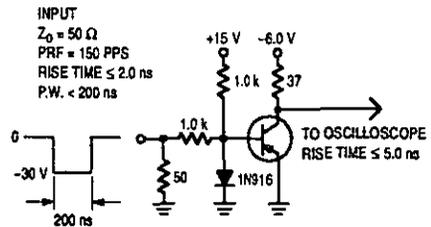
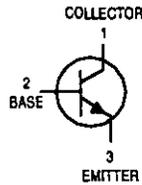


Figure 2. Storage and Fall Time Test Circuit

Amplifier Transistors

NPN Silicon



P2N2222A



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	600	mAdc
Total Device Dissipation $\odot T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation $\odot T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10 \text{ mAdc}, I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	40	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 10 \mu\text{A dc}, I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	75	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10 \mu\text{A dc}, I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60 \text{ Vdc}, V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$)	I_{CEX}	—	10	nA dc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60 \text{ Vdc}, I_E = 0$) ($V_{CB} = 60 \text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$)	I_{CBO}	— —	0.01 10	$\mu\text{A dc}$
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}, I_C = 0$)	I_{EBO}	—	10	nA dc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 10 \text{ V}$)	I_{CEO}	—	10	nA dc
Base Cutoff Current ($V_{CE} = 60 \text{ Vdc}, V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$)	I_{BEX}	—	20	nA dc

P2N2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = 0.1 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$) ($I_C = 150 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$) ⁽¹⁾ ($I_C = 150 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$) ⁽¹⁾ ($I_C = 500 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$) ⁽¹⁾	h_{FE}	35 50 75 35 100 50 40	— — — — 300 — —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾ ($I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_B = 15 \text{ mAdc}$) ($I_C = 500 \text{ mAdc}$, $I_B = 50 \text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	— —	0.3 1.0	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾ ($I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_B = 15 \text{ mAdc}$) ($I_C = 500 \text{ mAdc}$, $I_B = 50 \text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	0.6 —	1.2 2.0	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain — Bandwidth Product ⁽²⁾ ($I_C = 20 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	300	—	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{obo}	—	8.0	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{ibo}	—	25	pF
Input Impedance ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	k Ω
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{re}	— —	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{fe}	50 75	300 375	—
Output Admittance ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{oe}	5.0 25	35 200	μmhos
Collector Base Time Constant ($I_E = 20 \text{ mAdc}$, $V_{CB} = 20 \text{ Vdc}$, $f = 31.8 \text{ MHz}$)	$\tau_b C_c$	—	150	ps
Noise Figure ($I_C = 100 \mu\text{A}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	N_F	—	4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	($V_{CC} = 30 \text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = -2.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = 15 \text{ mAdc}$) (Figure 1)	t_d	—	10	ns
Rise Time		t_r	—	25	ns
Storage Time	($V_{CC} = 30 \text{ Vdc}$, $I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = I_{B2} = 15 \text{ mAdc}$) (Figure 2)	t_s	—	225	ns
Fall Time		t_f	—	60	ns

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.
2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{ie}|$ extrapolates to unity.

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

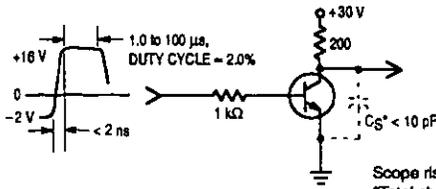


Figure 1. Turn-On Time

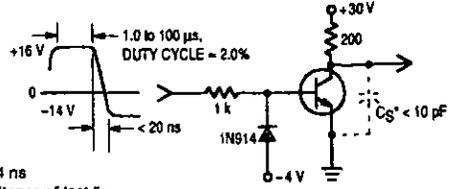


Figure 2. Turn-Off Time

Scope rise time < 4 ns
*Total shunt capacitance of test jig, connectors, and oscilloscope.

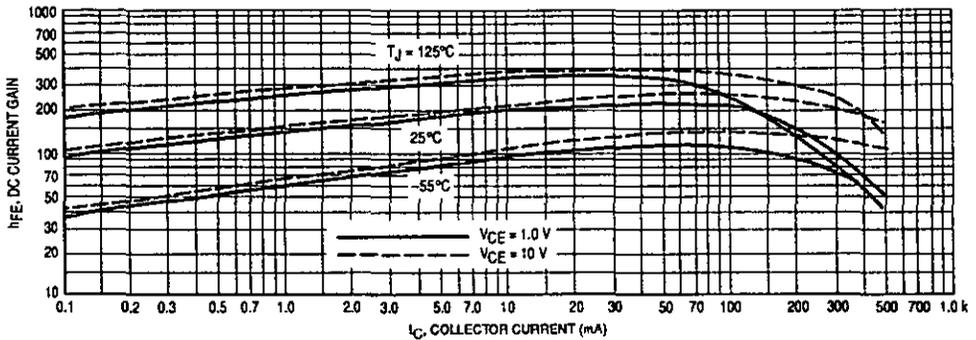


Figure 3. DC Current Gain

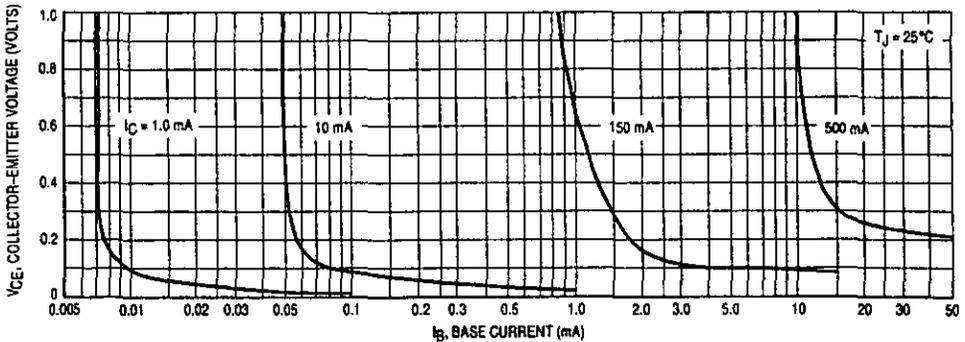


Figure 4. Collector Saturation Region

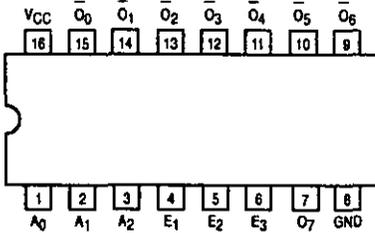


1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

The LSTTL/MSI SN54/74LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer. This device is ideally suited for high speed bipolar memory chip select address decoding. The multiple input enables allow parallel expansion to a 1-of-24 decoder using just three LS138s or to a 1-of-32 decoder using four LS138s and one inverter. The LS138 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all Motorola TTL families.

- Demultiplexing Capability
- Multiple Input Enable for Easy Expansion
- Typical Power Dissipation of 32 mW
- Active Low Mutually Exclusive Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

PIN NAMES

A₀-A₂ Address Inputs
E₁, E₂ Enable (Active LOW) Inputs
E₃ Enable (Active HIGH) Input
O₀-O₇ Active LOW Outputs (Note b)

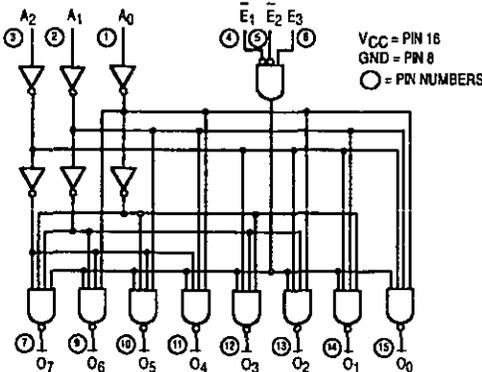
LOADING (Note a)

HIGH	LOW
0.5 U.L.	0.25 U.L.
0.5 U.L.	0.25 U.L.
0.5 U.L.	0.25 U.L.
10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:

- a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μA HIGH/1.6 mA LOW.
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

LOGIC DIAGRAM



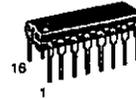
SN54/74LS138

1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

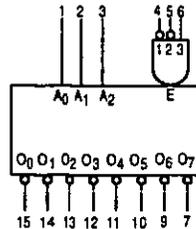


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8

SN54/74LS138

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer fabricated with the low power Schottky barrier diode process. The decoder accepts three binary weighted inputs (A_0, A_1, A_2) and when enabled provides eight mutually exclusive active LOW Outputs (O_0-O_7). The LS138 features three Enable inputs, two active LOW (E_1, E_2) and one active HIGH (E_3). All outputs will be HIGH unless E_1 and E_2 are LOW and E_3 is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel ex-

pansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four LS138s and one inverter. (See Figure a.)

The LS138 can be used as an 8-output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the data input and the other Enable inputs as strobes. The Enable inputs which are not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

TRUTH TABLE

INPUTS						OUTPUTS							
E_1	E_2	E_3	A_0	A_1	A_2	O_0	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

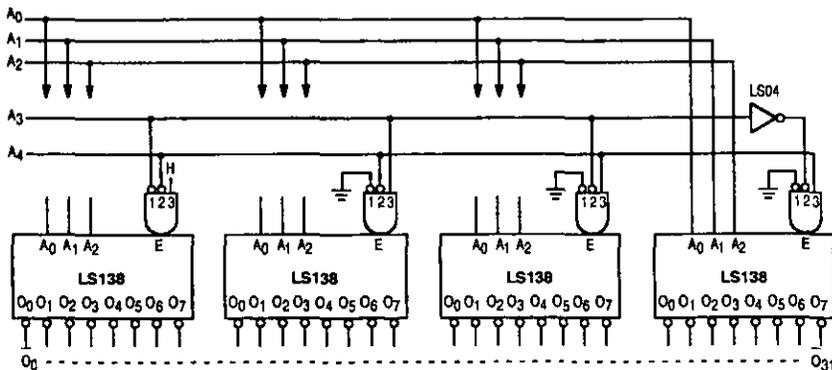


Figure a

SN54/74LS138

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.85	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5	V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current			10	mA	V _{CC} = MAX	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Levels of Delay	Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Address to Output	2		13	20	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
		2		27	41		
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Address to Output	3		18	27	ns	
		3		26	39		
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay E ₁ or E ₂ Enable to Output	2		12	18	ns	
		2		21	32		
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay E ₃ Enable to Output	3		17	26	ns	
		3		25	38		

AC WAVEFORMS

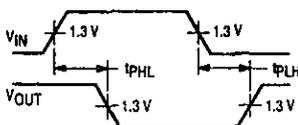


Figure 1

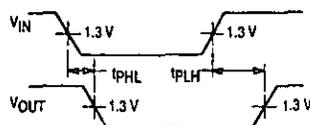


Figure 2

FAST AND LS TTL DATA



BCD DECADE COUNTERS/ 4-BIT BINARY COUNTERS

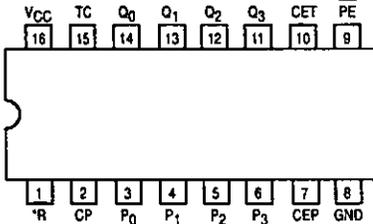
The LS160A/161A/162A/163A are high-speed 4-bit synchronous counters. They are edge-triggered, synchronously presettable, and cascadable MSI building blocks for counting, memory addressing, frequency division and other applications. The LS160A and LS162A count modulo 10 (BCD). The LS161A and LS163A count modulo 16 (binary).

The LS160A and LS161A have an asynchronous Master Reset (Clear) input that overrides, and is independent of, the clock and all other control inputs. The LS162A and LS163A have a Synchronous Reset (Clear) input that overrides all other control inputs, but is active only during the rising clock edge.

	BCD (Modulo 10)	Binary (Modulo 16)
Asynchronous Reset	LS160A	LS161A
Synchronous Reset	LS162A	LS163A

- Synchronous Counting and Loading
- Two Count Enable Inputs for High Speed Synchronous Expansion
- Terminal Count Fully Decoded
- Edge-Triggered Operation
- Typical Count Rate of 35 MHz
- ESD > 3500 Volts

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

*MR for LS160A and LS161A
*SR for LS162A and LS163A

PIN NAMES

PE	Parallel Enable (Active LOW) Input
P ₀ -P ₃	Parallel Inputs
CEP	Count Enable Parallel Input
CET	Count Enable Trickle Input
CP	Clock (Active HIGH Going Edge) Input
MR	Master Reset (Active LOW) Input
SR	Synchronous Reset (Active LOW) Input
Q ₀ -Q ₃	Parallel Outputs (Note b)
TC	Terminal Count Output (Note b)

LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
PE	1.0 U.L.	0.5 U.L.
P ₀ -P ₃	0.5 U.L.	0.25 U.L.
CEP	0.5 U.L.	0.25 U.L.
CET	1.0 U.L.	0.5 U.L.
CP	0.5 U.L.	0.25 U.L.
MR	1.0 U.L.	0.5 U.L.
Q ₀ -Q ₃	10 U.L.	5 (2.5) U.L.
TC	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:

a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.

b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

SN54/74LS160A
SN54/74LS161A
SN54/74LS162A
SN54/74LS163A

**BCD DECADE COUNTERS/
4-BIT BINARY COUNTERS**
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

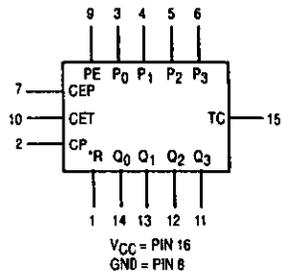


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

LOGIC SYMBOL

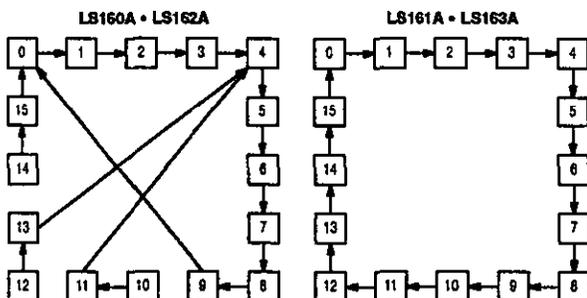


V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8

*MR for LS160A and LS161A
*SR for LS162A and LS163A

SN54/74LS160A • SN54/74LS161A SN54/74LS162A • SN54/74LS163A

STATE DIAGRAM



LOGIC EQUATIONS

Count Enable = $\overline{\text{CEP}} + \text{CET} + \text{PE}$
 TC for LS160A & LS162A = $\text{CET} + Q_0 + \overline{Q_1} + \overline{Q_2} + Q_3$
 TC for LS161A & LS163A = $\text{CET} + Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3$
 Preset = $\overline{\text{PE}} + \text{CP}$ (rising clock edge)
 Reset = $\overline{\text{MR}}$ (LS160A & LS161A)
 Reset = $\text{SR} + \text{CP}$ (rising clock edge)
 (LS162A & LS163A)

NOTE:

The LS160A and LS162A can be preset to any state, but will not count beyond 9. If preset to state 10, 11, 12, 13, 14, or 15, it will return to its normal sequence within two clock pulses.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS160A/161A/162A/163A are 4-bit synchronous counters with a synchronous Parallel Enable (Load) feature. The counters consist of four edge-triggered D flip-flops with the appropriate data routing networks feeding the D inputs. All changes of the Q outputs (except due to the asynchronous Master Reset in the LS160A and LS161A) occur as a result of, and synchronous with, the LOW to HIGH transition of the Clock input (CP). As long as the set-up time requirements are met, there are no special timing or activity constraints on any of the mode control or data inputs.

Three control inputs — Parallel Enable ($\overline{\text{PE}}$), Count Enable Parallel (CEP) and Count Enable Trickle (CET) — select the mode of operation as shown in the tables below. The Count Mode is enabled when the CEP, CET, and PE inputs are HIGH. When the PE is LOW, the counters will synchronously load the data from the parallel inputs into the flip-flops on the LOW to HIGH transition of the clock. Either the CEP or CET can be used to inhibit the count sequence. With the PE held HIGH, a LOW on either the CEP or CET inputs at least one set-up time prior to the LOW to HIGH clock transition will cause the existing output states to be retained. The AND feature of the two Count Enable inputs ($\text{CET} + \text{CEP}$) allows synchronous cascading without external gating and without delay accumulation over any practical number of bits or digits.

The Terminal Count (TC) output is HIGH when the Count Enable Trickle (CET) input is HIGH while the counter is in its maximum count state (HLLH for the BCD counters, HHHH for

the Binary counters). Note that TC is fully decoded and will, therefore, be HIGH only for one count state.

The LS160A and LS162A count modulo 10 following a binary coded decimal (BCD) sequence. They generate a TC output when the CET input is HIGH while the counter is in state 9 (HLLH). From this state they increment to state 0 (LLLL). If loaded with a code in excess of 9 they return to their legitimate sequence within two counts, as explained in the state diagram. States 10 through 15 do not generate a TC output.

The LS161A and LS163A count modulo 16 following a binary sequence. They generate a TC when the CET input is HIGH while the counter is in state 15 (HHHH). From this state they increment to state 0 (LLLL).

The Master Reset ($\overline{\text{MR}}$) of the LS160A and LS161A is asynchronous. When the MR is LOW, it overrides all other input conditions and sets the outputs LOW. The MR pin should never be left open. If not used, the MR pin should be tied through a resistor to VCC, or to a gate output which is permanently set to a HIGH logic level.

The active LOW Synchronous Reset ($\overline{\text{SR}}$) input of the LS162A and LS163A acts as an edge-triggered control input, overriding CET, CEP and PE, and resetting the four counter flip-flops on the LOW to HIGH transition of the clock. This simplifies the design from race-free logic controlled reset circuits, e.g., to reset the counter synchronously after reaching a predetermined value.

MODE SELECT TABLE

*SR	PE	CET	CEP	Action on the Rising Clock Edge (\uparrow)
L	X	X	X	RESET (Clear)
H	L	X	X	LOAD ($P_n \rightarrow Q_n$)
H	H	H	H	COUNT (Increment)
H	H	L	X	NO CHANGE (Hold)
H	H	X	L	NO CHANGE (Hold)

*For the LS162A and LS163A only.

H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 X = Don't Care

FAST AND LS TTL DATA

**SN54/74LS160A • SN54/74LS161A
SN54/74LS162A • SN54/74LS163A**

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

LS160A and LS161A

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5	V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5		
I _{IH}	Input HIGH Current MR, Data, CEP, Clock PE, CET			20 40	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
	MR, Data, CEP, Clock PE, CET			0.1 0.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current MR, Data, CEP, Clock PE, CET			-0.4 -0.8	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			31	mA	V _{CC} = MAX	
				32			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

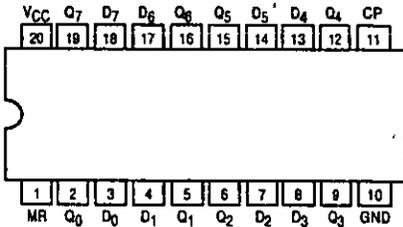


OCTAL D FLIP-FLOP WITH CLEAR

The SN54/74LS273 is a high-speed 8-Bit Register. The register consists of eight D-Type Flip-Flops with a Common Clock and an asynchronous active LOW Master Reset. This device is supplied in a 20-pin package featuring 0.3 inch lead spacing.

- 8-Bit High Speed Register
- Parallel Register
- Common Clock and Master Reset
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



PIN NAMES

- CP Clock (Active HIGH Going Edge) Input
- D₀-D₇ Data Inputs
- MR Master Reset (Active LOW) Input
- Q₀-Q₇ Register Outputs (Note b)

LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
CP	0.5 U.L.	0.25 U.L.
D ₀ -D ₇	0.5 U.L.	0.25 U.L.
MR	0.5 U.L.	0.25 U.L.
Q ₀ -Q ₇	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:

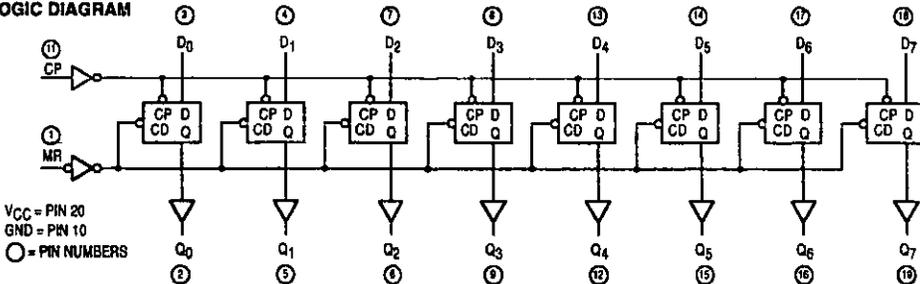
- a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.
- b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

TRUTH TABLE

MR	CP	D _x	Q _x
L	X	X	L
H		H	H
H		L	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level
X = Immaterial

LOGIC DIAGRAM



V_{CC} = PIN 20
GND = PIN 10

○ = PIN NUMBERS

SN54/74LS273

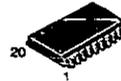
OCTAL D FLIP-FLOP
WITH CLEAR
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03



DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03

ORDERING INFORMATION

- SN54LSXXXJ Ceramic
- SN74LSXXXN Plastic
- SN74LSXXXDW SOIC

FAST AND LS TTL DATA

SN54/74LS273

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The SN54/74LS273 is an 8-Bit Parallel Register with a common Clock and common Master Reset.

When the MR input is LOW, the Q outputs are LOW,

independent of the other inputs. Information meeting the setup and hold time requirements of the D inputs is transferred to the Q outputs on the LOW-to-HIGH transition of the clock input.

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA
		74	0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current			27	mA	V _{CC} = MAX

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, V_{CC} = 5.0 V)

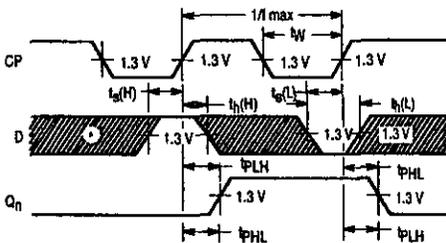
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
f _{MAX}	Maximum Input Clock Frequency	30	40		MHz	Figure 1
t _{PHL}	Propagation Delay, MR to Q Output		18	27	ns	Figure 2
t _{PLH}	Propagation Delay, Clock to Output		17	27	ns	Figure 1
t _{PHL}			18	27		

SN54/74LS273

AC SETUP REQUIREMENTS (TA = 25°C, VCC = 5.0 V)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t_w	Pulse Width, Clock or Clear	20			ns	Figure 1
t_s	Data Setup Time	20			ns	Figure 1
t_h	Hold Time	5.0			ns	Figure 1
t_{rec}	Recovery Time	25			ns	Figure 2

AC WAVEFORMS



*The shaded areas indicate when the input is permitted to change for predictable output performance.

Figure 1. Clock to Output Delays, Clock Pulse Width, Frequency, Setup and Hold Times Data to Clock

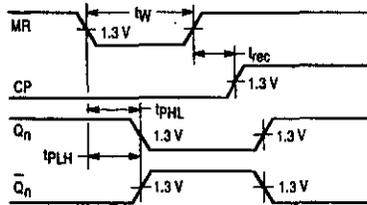


Figure 2. Master Reset to Output Delay, Master Reset Pulse Width, and Master Reset Recovery Time

DEFINITION OF TERMS

SETUP TIME (t_s) — is defined as the minimum time required for the correct logic level to be present at the logic input prior to the clock transition from LOW-to-HIGH in order to be recognized and transferred to the outputs.

HOLD TIME (t_h) — is defined as the minimum time following the clock transition from LOW-to-HIGH that the logic level must be maintained at the input in order to ensure continued

recognition. A negative HOLD TIME indicates that the correct logic level may be released prior to the clock transition from LOW-to-HIGH and still be recognized.

RECOVERY TIME (t_{rec}) — is defined as the minimum time required between the end of the reset pulse and the clock transition from LOW-to-HIGH in order to recognize and transfer HIGH data to the Q outputs.

LM555/LM555C Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

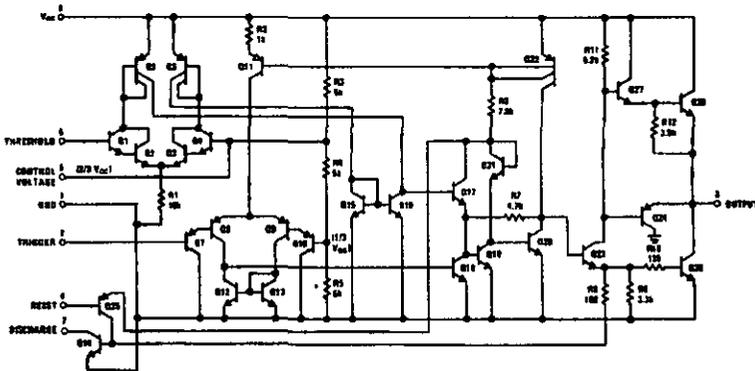
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8 pin MSOP package

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



DD07782-1

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	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555H, LM555CH	760 mW
LM555, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
LM555	-55°C to +125°C

Storage Temperature Range -65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

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

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to +15V, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
Timing Error, Monostable								
Initial Accuracy	$R_A = 1\text{k}$ to 100 k Ω , $C = 0.1\ \mu\text{F}$, (Note 5)		0.5			1		%
Drift with Temperature			30			50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5			1.5		%
Drift with Supply			0.05			0.1		%/V
Timing Error, Astable								
Initial Accuracy	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to 100 k Ω , $C = 0.1\ \mu\text{F}$, (Note 5)		1.5			2.25		%
Drift with Temperature			90			150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			2.5			3.0		%
Drift with Supply			0.15			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9		5 1.67		V V
Trigger Current			0.01	0.5		0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)								
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_T = 15\text{ mA}$		150			180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_T = 4.5\text{ mA}$		70	100		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{\text{SINK}} = 10\text{ mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	$I_{\text{SINK}} = 50\text{ mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	$I_{\text{SINK}} = 100\text{ mA}$		2	2.2		2	2.5	V
	$I_{\text{SINK}} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$							
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{SOURCE}} = 200\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5			12.5		V
	$I_{\text{SOURCE}} = 100\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	13	13.3		12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	3	3.3		2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 184°C/W (TO-5), 108°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

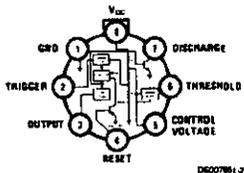
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20 M Ω .

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 8: Refer to RET555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

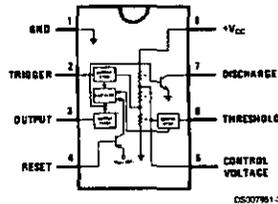
Connection Diagrams

Metal Can Package



Top View
Order Number LM555H or LM555CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line, Small Outline
and Molded Mini Small Outline Packages



Top View
Order Number LM555J, LM555CJ,
LM555CM, LM555CMM or LM555CN
See NS Package Number J08A, M08A, MUA08A or
N08E



MOTOROLA

Order this document by MC78T00/D

MC78T00 Series

Three-Ampere Positive Voltage Regulators

This family of fixed voltage regulators are monolithic integrated circuits capable of driving loads in excess of 3.0 A. These three-terminal regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. Devices are available with improved specifications, including a 2% output voltage tolerance, on AC-suffix 5.0, 12 and 15 V device types.

Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents. This series of devices can be used with a series-pass transistor to supply up to 15 A at the nominal output voltage.

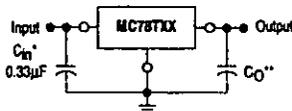
- Output Current in Excess of 3.0 A
- Power Dissipation: 25 W
- No External Components Required
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance*
- Thermal Regulation Is Specified
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 V - 12 V) (15 V)	V _I	35 40	Vdc
Power Dissipation and Thermal Characteristics Plastic Package (Note 1) T _A = +25°C Thermal Resistance, Junction-to-Air T _C = +25°C Thermal Resistance, Junction-to-Case	P _D	Internally Limited	°C/W
	R _{θJA}	65	
	P _D	Internally Limited	
	R _{θJC}	2.5	
Storage Junction Temperature	T _{stg}	+150	°C
Operating Junction Temperature Range (MC78T00C, AC)	T _J	0 to +125	°C

NOTES: 1. Although power dissipation is internally limited, specifications apply only for P_O ≤ P_{max}. P_{max} = 25 W.

Simplified Application



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.2 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX these two digits of the type number indicate voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter. (See Applications Information for details.)

** C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response.

THREE-AMPERE POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

- Pin 1. Input
2. Ground
3. Output



Heatsink surface is connected to Pin 2.

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC78T05	5.0 V	MC78T12	12 V
MC78T08	8.0 V	MC78T15	15 V

ORDERING INFORMATION

Device	V _O Tol.	Operating Temperature Range	Package
MC78TXXCT	4%	T _J = 0° to +125°C	Plastic Power
MC78TXXACT	2%*		
MC78TXXBT#	4%	T _J = -40° to +125°C	Plastic Power
MC78TXXABT#	2%*		

XX Indicates nominal voltage.

* 2% regulators available in 5, 12 and 15 V devices.

Automotive temperature range selections are available with special test conditions and additional tests. Contact your local Motorola sales office for information.

MC78T00 Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 3.0\text{ A}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$, $P_O \leq P_{max}$ [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	MC78T05AC			MC78T05C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$) ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$; $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 2.0\text{ A}$, $7.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$)	V_O	4.9 4.8	5.0 5.0	5.1 5.2	4.8 4.75	5.0 5.0	5.2 5.25	Vdc
Line Regulation (Note 2) ($7.2\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 35\text{ Vdc}$, $I_O = 5.0\text{ mA}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$; $7.2\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 35\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$; $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$; $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$)	Reg _{line}	–	3.0	25	–	3.0	25	mV
Load Regulation (Note 2) ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$) ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$)	Reg _{load}	– –	10 15	30 80	– –	10 15	30 80	mV
Thermal Regulation (Pulse = 10 ms, P = 20 W, $T_A = +25^\circ\text{C}$)	Reg _{therm}	–	0.001	0.01	–	0.002	0.03	% V_O/W
Quiescent Current ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$) ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$)	I_B	– –	3.5 4.0	5.0 8.0	– –	3.5 4.0	5.0 8.0	mA
Quiescent Current Change ($7.2\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 35\text{ Vdc}$, $I_O = 5.0\text{ mA}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$; $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$; $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$)	ΔI_B	–	0.3	1.0	–	0.3	1.0	mA
Ripple Rejection ($8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 2.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	RR	62	75	–	62	75	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 3.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	–	2.2	2.5	–	2.2	2.5	Vdc
Output Noise Voltage ($10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_n	–	10	–	–	10	–	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	R_O	–	2.0	–	–	20	–	m Ω
Short Circuit Current Limit ($V_{in} = 35\text{ Vdc}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{SC}	–	1.5	–	–	1.5	–	A
Peak Output Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	5.0	–	–	5.0	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage ($I_O = 5.0\text{ mA}$)	TCV_O	–	0.2	–	–	0.2	–	mV/ $^\circ\text{C}$

NOTES: 1. Although power dissipation is internally limited, specifications apply only for $P_O \leq P_{max}$. $P_{max} = 25\text{ W}$.

2. Line and load regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

Three-Terminal Positive Voltage Regulators

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Packages
- Previous Commercial Temperature Range has been Extended to a Junction Temperature Range of -40°C to +125°C

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC7805AC LM340AT-5 MC7805C LM340T-5	5.0 V	MC7812C LM340T-12	12 V
MC7806AC MC7806C	6.0 V	MC7815AC LM340AT-15 MC7815C LM340T-15	15 V
MC7808AC MC7808C	8.0 V	MC7818AC MC7818C	18 V
MC7809C	9.0 V	MC7824AC MC7824C	24 V
MC7812AC LM340AT-12	12 V		

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC78XXACT	2%	T _J = -40° to +125°C	Insertion Mount
LM340AT-XX			Surface Mount
MC78XXACD2T	4%		Insertion Mount
MC78XXCT			Surface Mount
LM340T-XX			
MC78XXCD2T			Surface Mount

XX indicates nominal voltage.

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface
connected to Pin 2.



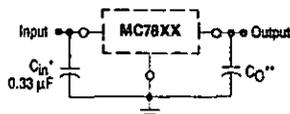
Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D²PAK)



Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_o is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 μF could cause instability.

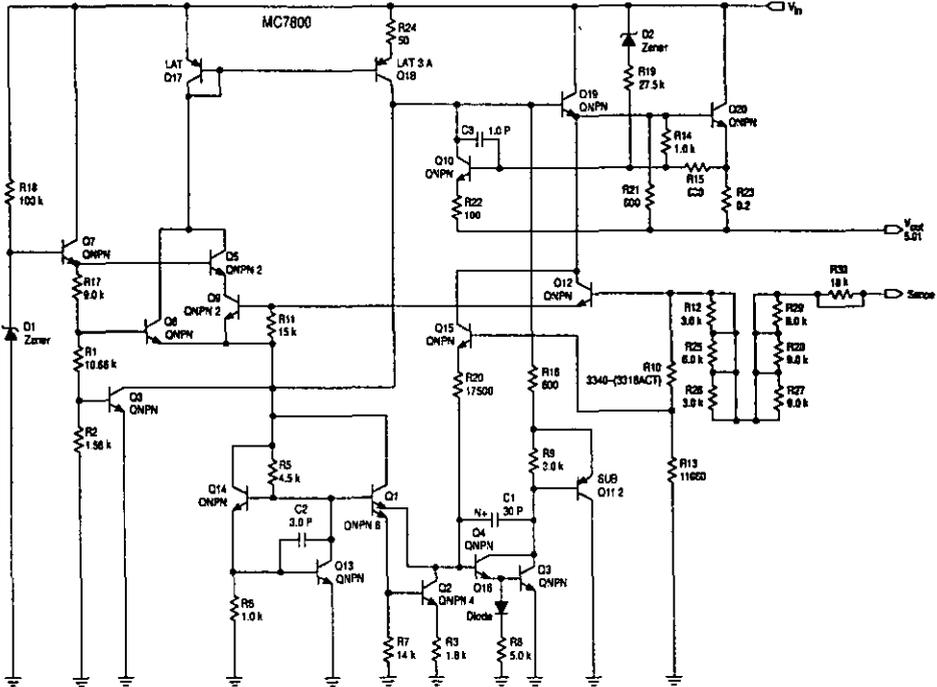
MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 - 18 V) (24 V)	V_I	35 40	Vdc
Power Dissipation Case Z21A $T_A = 25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case Case B36 (D ² PAK) $T_A = 25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case	P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$ P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JA}$	Internally Limited 65 5.0 Internally Limited See Figure 13 5.0	W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	+150	$^\circ\text{C}$

NOTE: ESD data available upon request.

Representative Schematic Diagram



This device contains 22 active transistors.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{IN} = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7800C/LM340T-5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.75 —	5.0 —	5.25 —	Vdc
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$, 1.0 A $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 12\text{ Vdc}$	Reg _{line}	— —	0.5 0.8	20 10	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	Reg _{load}	— —	1.3 1.3	25 25	mV
Quiescent Current	I_B	—	3.2	6.5	mA
Quiescent Current Change $7.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 25\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	ΔI_B	— —	0.3 0.08	1.0 0.8	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	62	83	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	—	2.0	—	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	—	10	—	μVV_O
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	—	0.9	—	m Ω
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{IN} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	—	0.6	—	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	—	2.2	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	—	-0.3	—	mV/ $^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{IN} = 10\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7805AC/LM340AT-5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.9	5.0	5.1	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $7.3\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	— — — —	0.5 0.8 1.3 4.5	10 12 4.0 10	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	— — —	1.3 0.8 0.53	25 25 15	mV
Quiescent Current	I_B	—	3.2	6.0	mA
Quiescent Current Change $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $7.5\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 20\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	— — —	0.3 — 0.08	0.8 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{IN} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	68	83	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	—	2.0	—	Vdc

NOTES: 1. $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ for MC7800AC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC7800AC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.