

**UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**"MODULO DE MEDICION AUXILIAR  
AL SISTEMA DE PERFUSION  
QUE DETERMINA EL FLUJO SANGUINEO  
CIRCULANTE EN PACIENTES SUJETOS  
A CIRUGIA DE CORAZON ABIERTO"**

**TRABAJO ELABORADO PARA OPTAR AL GRADO  
DE INGENIERO EN BIOMEDICA**

**PRESENTADO POR:**

**CESAR AUGUSTO BARAHONA FUENTES,  
LEOPOLDO HERNANDEZ GUEVARA**

**SOYAPANGO 1993.**

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA

"Módulo de Medición Auxiliar  
al Sistema de Perfusion  
que Determina el Flujo Sanguíneo  
Circulante en Pacientes Sujetos  
a Cirugía de Corazón Abierto"

---

ING. SALVADOR JUAREZ  
ASESOR

---

ING. EUGENIO ERNESTO CIRÓN  
JURADO

---

ING. ERNESTO HERNÁNDEZ SEPAS  
JURADO

## PRÓLOGO

El diseño de circuitos electrónicos capaces de resolver un problema específico es un campo muy reciente y poco desarrollado en nuestro país. Este proyecto quiere ser una humilde contribución para el alcance de esta nueva frontera y servir de referencia a todos aquellos que deseen tomarse la tarea de diseñar equipos electrónicos.

Agradezco a DIOS Todopoderoso que ha permitido y guiado esta obra; a mis padres y hermanos que siempre me han apoyado; a todos los Maestros que a lo largo de mi vida me han mostrado el camino del conocimiento; a los amigos, los verdaderos amigos que me apoyaron y creyeron en mí aún cuando flaquearon mis fuerzas, y sin quienes no hubiera sido posible la realización de ésta; y a todos aquellos que colaboraron directa o indirectamente en su concepción.

Finalmente, quiero dedicar esta obra a la memoria de Julio Alberto Cuéllar, quien lamentablemente no pudo ser el tercer miembro de este equipo, y muy especialmente a Ana Cecilia Parada, quien me ha mostrado cuán maravillosa es la vida y lo hermoso de contar con alguien en los buenos y en los malos momentos.

César A. Barahona.

*San Salvador, 1993.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a DIOS Todopoderoso y a Maria Auxiliadora, sin cuya providencia nada es posible. También agradezco de una manera especial a mi madre y abuela que me apoyaron en todo momento , con su amor y especial dedicación.

Agradezco finalmente a mis familiares, maestros, amigos y demás personas que contribuyeron de alguna manera a la consecución del presente trabajo.

Leopoldo Hernández Guevara.

*San Salvador, Octubre 1993.*

# I N D I C E

Pág.

## CAPITULO I

1. El Sistema Caridio Vascular	
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Velocidad del Flujo de Sangre.....	1
1.1.2. Funciones de las Arterias.....	4
1.2. Circulación Pulmonar.....	6
1.2.1. Anatomía de la Circulación Pulmonar.....	7
1.2.2. Funciones de la Circulación Pulmonar.....	8
1.2.2.1. Intercambio de Gases. Función Principal de los Pulmones.....	9
1.2.2.2. Función de Reservorio.....	9
1.2.2.3. Acción de Filtro.....	9
1.3. Anatomía Funcional de la Contracción Cardíaca.....	11
1.3.1. Contracción Muscular.....	11
1.3.2. Componentes Anatómicos del Corazón.....	14
1.3.3. Anatomía Funcional de las Válvulas Cardíacas....	16
1.3.3.1. Válvulas Semilunares.....	16
1.3.3.2. Válvulas Auriculoventriculares.....	16
1.3.3.3. Válvula Mitral.....	17
1.3.4. Coordinación del Latido Cardíaco.....	17
1.3.4.1. Sistema de Conducción del Corazón.....	18
1.3.4.2. Orden en que se Presenta la Exitación....	18
1.3.4.3. Contracción del Ventrículo Derecho.....	20
1.3.4.4. Contracción del Ventrículo Izquierdo....	20
1.3.4.5. Efectos Mecánicos de la Contracción Cardíaca.....	22
1.4. Métotlos de Medición de la Corriente Sanguínea.....	24
1.4.1. Algunos Métodos Exploratorios del Volumen.....	24
1.4.2. Aparatos Exploradores de Energía.....	25

	Pag.
1.4.3. Mediciones Indirectas.....	25
1.4.3.1. Procedimientos para la Medición de la Energía Externa.....	25
1.4.3.2. Fluxómetros Electromagnéticos.....	26
1.4.3.3. Exploración de Energía Desarrollada por la Corriente Sanguínea por Medios Pulsátiles Ultrasónicos.....	28
1.4.3.4. Estudio de la Corriente Sanguínea por Medio del Efecto Doppler.....	28
1.5. Gasto Cardíaco.....	29
1.5.1. Regulación de la Frecuencia Cardíaca.....	29
1.5.2. Regulación Autónoma del Latido Cardíaco.....	30
1.5.3. Origen de los Nervios Aferentes que Convergen en los Centros Cardioreguladores.....	30
1.5.4. Regulación del Volumen por Latido.....	31
1.5.4.1. Factores Geométricos.....	31
1.5.4.1.1. Grado de Acortamiento Miocárdico en Diferentes Músculos del Corazón.....	32
1.5.4.1.2. Relación del Volumen Diastólico Según el Grado de Acortamiento Miocárdico.....	32
1.5.4.2. Factores que se oponen al Vaciamiento Ventricular Completo.....	33
1.5.4.3. Retroceso Diastólico.....	34
1.6. Cálculo Clínico del Gasto Cardíaco.....	34
1.6.1. Principio de Fick.....	36
1.6.1.1. Medición del Consumo de Oxígeno.....	36
1.6.1.2. Diferencia Arteriovenosa del Oxígeno.....	36
1.6.1.2.1. Medición del Contenido de Oxígeno en la Sangre.....	37

1.6.2. Principio de Stewart.....	37
1.6.2.1. Principios Generales.....	38
1.6.3. Método del Contorno de la Presión de Pulso.....	39
1.7. Patologías Relacionadas con el Sistema Circulatorio que Requieren Uso de Máquina Corazón-Pulmón.....	40
1.7.1. Patologías Adquiridas.....	40
1.7.2. Patologías Congénitas.....	41

## CAPITULO II

### 2. Máquina Corazón-Pulmón

2.1. Introducción.....	42
2.2. Teoría y Funcionamiento.....	47
2.2.1. Ajuste de la Oclusión del Tubo.....	47
2.2.2. Volumen del Golpe.....	47
2.3. Cabezal de la Bomba.....	49
2.3.1. Instalación de la Bomba.....	49
2.3.2. Cambio de Insertos.....	49
2.3.3. Ajustes de Oclusión.....	52
2.4. Controles de la Bomba.....	52
2.4.1. Funciones.....	52
2.4.2. Descripción.....	53
2.4.3. Operación.....	53
2.5. Calibración de la Bomba.....	53
2.6. Alcances y Limitaciones del Módulo Auxiliar.....	56
2.7. Diagrama de Bloques Preliminar.....	57
2.8. Análisis de la Información.....	59
2.8.1. Tablas de Velocidad x Flujo.....	59
2.8.2. Regresión Lineal.....	59
2.8.2.1. Cálculo de la Ecuación de Regresión....	73
2.8.2.2. Desviación Estandar de Regresión.....	74

	Pag.
2.8.2.3. Coeficiente de Correlación.....	75
2.8.3. Cálculo de la Ecuación $Y = a + bX$ .....	76
2.8.4. Cálculo del Flujo Considerando el Volumen del Golpe.....	77
2.8.5. Medición de Señales.....	99
2.9. Acople de la Señal Obtenida para su Uso en el Módulo Auxiliar de Medición.....	102

### CAPITULO III

3. Diseño del Módulo Auxiliar de Medición	
3.1. Análisis del Problema.....	104
3.1.1. Uso de Compuertas y Sumadores.....	105
3.1.2. Uso de Circuitos Multiplicadores y Unidades Aritméticas Lógicas.....	107
3.1.3. Uso de Microprocesador.....	107
3.2. Criterios de Diseño.....	108
3.3. Diseño por Etapas del Módulo Auxiliar de Medición.....	109
3.3.1. Etapa de Acople.....	109
3.3.2. Etapa de Multiplexado.....	112
3.3.3. Etapa de Selección de Bomba y Manguera.....	112
3.3.4. Etapa de Muestreo.....	116
3.3.4.1. Base de Tiempo.....	116
3.3.4.2. Contador de Pulsos.....	121
3.3.5. Etapa de Tratamiento de Señales.....	122
3.3.5.1. Conexión del Microprocesador.....	125
3.3.5.2. Circuito de Reloj Interno.....	127
3.3.5.3. Conexión del Adaptador de Interface de Periféricos (PIA).....	127
3.3.5.4. Conexión del Decodificador de Direcciones.....	129

	Pag.
3.3.5.5. Conexión de Memorias ROM y RAM.....	131
3.3.6. Etapa de Presentación.....	132

#### CAPITULO IV

4. Implementación del Módulo Auxiliar	
4.1. Programación del Microprocesador 6502.....	135
4.1.1. Lectura de Datos.....	136
4.1.2. Selección de las Constantes a y b.....	140
4.1.3. Generador de Señal de Error.....	149
4.1.4. Inicialización del Contador.....	150
4.1.5. Multiplicación de la Frecuencia por la Constante b.....	151
4.1.6. Suma Algebraica de la Constante a al Resultado de Multiplicar Frecuencia por la Constante b..	154
4.1.7. Corrección a Cero.....	157
4.1.8. Conversión de Código Binario a Código de Siete Segmentos.....	158
4.1.9. Presentación de los Activadores de Siete Segmentos.....	164
4.1.10. Vectores de Interrupción.....	168
4.2. Ensamble del Módulo Auxiliar.....	169
4.2.1. Operación del Módulo Auxiliar.....	170
4.2.2. Puntos de Verificación de Señales.....	173
-CONCLUSIONES.....	178
-ANEXOS A.....	183
-ANEXOS B.....	187
-ANEXOS C.....	192
-ANEXOS D.....	199
-BIBLIOGRAFIA.....	223
-GLOSARIO.....	225

## INTRODUCCION

Los organismos complejos, compuestos por numerosos grupos de células especializadas, cuentan con un sistema cardiovascular que proporciona funciones vitales para la sobrevivencia de estos como lo son el transporte de sustancias que satisfagan las necesidades metabólicas, acarreo de desperdicios y otras.

En el hombre, muchas veces este sistema tan importante suele fallar, debido a los hábitos alimenticios y el tipo de vida que llevan los individuos, existiendo también defectos congénitos que afectan grandemente el desempeño de este sistema.

Estas fallas deben ser corregidas pues ponen en peligro la vida del paciente. Esta acción se realiza mediante una intervención quirúrgica, afectando consecuentemente las funciones de los pulmones y del corazón mismo se ven seriamente afectadas, y se hace necesario utilizar equipos especializados que realicen estas funciones, tal como lo son las máquinas corazón-pulmón. Estas máquinas permiten que el corazón y los grandes vasos a los que está conectado puedan ser aislados del circuito cerrado que forma el sistema circulatorio sin poner en peligro la vida del paciente.

Las bombas de perfusión extracorpórea o máquinas corazón-pulmón, deben ser calibradas para asegurar un flujo sanguíneo adecuado. El proceso de calibración precisa del conocimiento del volumen entregado por minuto de cada bomba para una velocidad angular determinada. La bomba de perfusión con que cuenta el hospital Médico Quirúrgico (ISSS) no presenta directamente el flujo circulante entregado, por lo tanto la calibración se vuelve

trabajosa debido a la necesidad de realizar numerosas mediciones de volumen por tiempo dentro del rango de velocidad de trabajo de las bombas (un promedio de 30 mediciones por bomba).

La elaboración de un módulo auxiliar de medición que presente directamente el flujo circulante entregado por cada bomba, reduciría considerablemente el tiempo requerido en la calibración de las bombas, y disminuiría el error humano en la toma de mediciones, haciendo aún más confiable a la máquina.

Es necesario determinar una tendencia que relacione la velocidad angular (RPM) y el flujo circulante (mL/min) para poder desarrollar dicho módulo. Con este fin, se hace un análisis de las tablas de calibración proporcionadas basándose principalmente en el uso de una herramienta estadística conocida como Regresión Lineal. La regresión lineal proporcionará la ecuación de una línea recta tal que para cualquier velocidad de la bomba se obtenga un valor de flujo circulante.

El funcionamiento del módulo auxiliar de medición requiere el uso de señales internas procedentes de las bombas peristálticas de la máquina de circulación extracorpórea, que representan la velocidad de giro, para transformarlas a un valor proporcional de flujo entregado por bomba.

Esto se hace posible mediante la cuantificación de la señal procedente de la máquina (un tren de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de rotación) utilizando un circuito de muestreo que proporciona un valor binario de esta señal.

La extracción de esta señal representativa no debe interferir con el normal funcionamiento de la máquina, por lo cual deberá existir un acople de señales provenientes de la máquina antes de ser tratadas por el módulo auxiliar de medición.

Se ha desarrollado una ecuación que establece la relación existente entre la velocidad (V) y el flujo (F). Esta relación está dada por:  $F = a + b V$ ; donde a y b son dos constantes previamente establecidas, las cuales son propias de cada bomba y manguera utilizadas.

La transformación de señales analógicas se hace mediante una multiplicación de la velocidad por la constante b, la suma de este resultado con la constante a. La realización de estas operaciones se efectúa mediante la utilización de un microprocesador, que además, desarrolla la conversión de el resultado obtenido a un código que permite la etapa de presentación de resultados, a la conexión de un arreglo de visualizadores de siete segmentos.

La selección de las combinaciones bomba-manguera se desarrolla mecánicamente. Esta selección mecánica proporciona la entrada a una etapa digital de selección, la cual determina la bomba cuya velocidad será transformada a flujo. Esta selección digital genera un número binario que representa un código establecido para cada combinación, el cual proporciona información necesaria al microprocesador, para determinar que constantes a y b deben ser utilizadas.

Seis son las etapas principales en que se ha separado el circuito total, algunas de las cuales se subdividen en otros circuitos pertenecientes a esa etapa. Estas etapas principales son:

- Etapa de Acople
- Etapa de Multiplexado
- Etapa de Selección de Bomba y Manguera
- Etapa de Muestreo
- Etapa de Tratamiento de Señales
- Etapa de Presentación

La selección de los dispositivos empleados en cada una de estas etapas se basa principalmente en el cumplimiento de los requerimientos mínimos exigidos en el diseño del circuito, bajo consumo de potencia, velocidad de respuesta, y disponibilidad en el mercado nacional.

Un sistema microprocesado está compuesto por un gran número de elementos que prestan la función de respaldo y/o contribuyen al manejo de datos del mundo exterior. Pero además de todos estos dispositivos físicos, el sistema microprocesado requiere de un conjunto de instrucciones que determinen que funciones debe realizar y en que momento deben ser realizadas.

Estas instrucciones están almacenadas en forma de un programa en lenguaje ensamblador en la memoria ROM existente dentro del sistema. El programa indica paso a paso, todas las funciones que deben realizarse para obtener el resultado esperado: la transformación de velocidad de giro de las bombas peristálticas a flujo entregado por éstas.

Las funciones que debe realizar el microprocesador permiten la división del programa en una serie de etapas secuenciales cuyo resultado es utilizado en la etapa que le sigue. El programa, entonces se puede analizar como un conjunto separado de procedimientos que confluyen hacia un solo objetivo. Las partes en que se ha dividido el programa son:

- Lectura del código de selección de bomba y manguera,
- Selección de las constantes a y b,
- Lectura de la velocidad de giro de las bombas peristálticas,
- Puesta a cero del contador de pulsos,
- Multiplicación de la velocidad por la constante b,
- Suma de la constante a al resultado de la multiplicación,
- Corrección a cero del resultado,
- Conversión de hexadecimal a código BCD,
- Conversión de código BCD a código de siete segmentos,
- Generación de la señal de error,
- Presentación de resultados en un juego de visualizadores de siete segmentos, y
- Ajuste de los vectores de interrupción.

Dentro de la circuitería del módulo auxiliar de medición se han establecido algunos puntos de comprobación que permiten observar el desempeño del sistema (las señales que se obtienen en estos puntos de prueba solo pueden ser analizadas utilizando un osciloscopio).

Parte del diseño del módulo auxiliar de medición es su presentación externa, es decir, la envoltura que protegerá a la circuitería. Se utilizará una caja metálica que además de la resistencia mecánica y durabilidad características, proporciona un blindaje contra el ruido eléctrico que podría afectar el buen funcionamiento del sistema microprocesado.

## OBJETIVOS

### Objetivos Generales :

- Elaborar una base teórica sobre la anatomía y fisiología de los componentes del sistema circulatorio que están relacionados con las bombas de circulación extracorpórea.
- Describir brevemente los componentes de la máquina corazón-pulmón.
- Realizar el diseño del circuito del módulo auxiliar de medición por etapas.
- Desarrollar un programa para el microprocesador 6502 que permita la transformación de velocidad de giro a flujo entregado por las bombas peristálticas de la máquina de circulación extracorpórea.

### Objetivos Específicos :

- Determinar el por qué del uso de la máquina corazón-pulmón.
- Desarrollar una función que relacione al flujo circulante con la velocidad angular.
- Establecer los alcances y limitaciones del módulo auxiliar de medición.
- Establecer el lugar exacto donde serán tomadas las señales para ser tratadas.

-Escoger el tipo de componentes que efectuarán el proceso de multiplicación y suma de constantes a la señal proveniente de cada una de las bombas peristálticas que forman parte de la máquina corazón-pulmón.

-Realizar un breve análisis de las etapas que conforman el circuito del módulo auxiliar de medición.

-Determinar los criterios de diseño involucrados en la escogitación de los dispositivos que componen los circuitos de las distintas etapas del módulo auxiliar.

-Definir la secuencia de realización de cada una de las tareas que debe efectuar el sistema microprocesado.

-Desarrollar un breve análisis de las etapas en que se ha dividido el programa elaborado para el microprocesador 6502.

-Determinar el aspecto físico externo del Módulo auxiliar de medición.

-Establecer las señales que se esperan obtener en los puntos de prueba escogidos.

## CAPITULO I

### 1. EL SISTEMA CARDIOVASCULAR

#### 1.1. GENERALIDADES

En una gran masa compleja de células como es el organismo de los mamíferos, la rápida difusión que sigue a los gradientes de concentración se logra proporcionando un flujo continuo de sangre en la vecindad de todas las células. Las corrientes de sangre deben ser contenidas dentro de canales que retarden la difusión. Estos requisitos son satisfechos por millones de capilares de paredes muy delgadas, distribuidos en todas las porciones del organismo. Con la especialización de las células y de los tejidos en los organismos complejos, el flujo sanguíneo no sólo debe satisfacer las necesidades metabólicas, sino también servir a otras funciones como la disipación de calor, el movimiento, la secreción, la absorción y la excreción.

##### 1.1.1. VELOCIDAD DEL FLUJO DE SANGRE

El sistema circulatorio es un circuito cerrado en el cual una arteria o vena principal se bifurca para dar origen a todo el árbol circulatorio. Esta división de los vasos principales ocasiona que el área de sección transversal de las ramas sobrepase a la del vaso original. Debido a que los volúmenes de sangre que fluyen a través de los segmentos correspondientes del sistema son iguales, los cambios de la sección transversal

afectan la velocidad del flujo de la sangre.

La velocidad del flujo se reduce en las regiones de la circulación que poseen áreas de sección transversal grandes. En la aorta la sangre viaja a una velocidad media de 40 a 50 cm por segundo y en los capilares se mueve a la de 0.07 cm por segundo. El flujo lento de los capilares periféricos da tiempo para el intercambio de materiales a través de la pared capilar. Después de pasar a las venas, la sangre nuevamente se acelera a medida que el área de la sección transversal decrece progresivamente.

Es necesario distinguir entre el volumen y la velocidad del flujo sanguíneo. El volumen del flujo de sangre a través de un tubo en particular depende del gradiente de presión, la resistencia al flujo y las características físicas de la sangre.

Los líquidos fluyen a lo largo de un tubo debido a un gradiente de presión. La progresiva reducción de la presión de un líquido que pasa a lo largo de un tubo de diámetro constante, representa la energía perdida debido a la fricción. En un tubo de diámetro constante la caída de presión es directamente proporcional a la longitud del tubo, a la cuantía del flujo y a la viscosidad del líquido; y es inversamente proporcional a la cuarta potencia del radio. La interrelación de estos factores ha sido combinada en una fórmula utilizable únicamente para el flujo de líquidos viscosos por tubos rígidos de calibre constante.

$$\Delta P = 8LFV / \pi R^4$$

donde:

$\Delta P$  = caída de presión

L = longitud

R = radio

F=flujo

V=viscosidad

$\theta/\pi$ =cte.proporcionalidad

Esta fórmula no puede ser aplicada cuantitativamente al sistema circulatorio por diversos factores: a) Los vasos sanguíneos no son rígidos, se estiran en respuesta al aumento de presión. b) El plasma es un fluido viscoso, pero la sangre total no lo es. c) La sangre no es un líquido homogéneo debido a que contiene gran número de elementos celulares que afectan su curso a lo largo del sistema vascular. Sin embargo esta fórmula puede aplicarse en un sentido cualitativo considerando que la presión de la sangre arterial y la longitud del vaso tienden a quedar relativamente fijas, y que la viscosidad de la sangre tiene variabilidad limitada.

El calibre de los vasos desempeña un papel predominante para determinar tanto el gradiente de presión y el flujo por distintos segmentos del aparato circulatorio. La sangre fluye a través de los troncos arteriales de mayor calibre con poca pérdida friccional. Las arterias se dividen, por lo cual, el calibre de los vasos disminuye y el gradiente de presión se hace más agudo. Análogamente, la confluencia de las venas va acompañada de reducción de la resistencia a medida que la sangre fluye de los capilares al corazón; en las venas de mayor diámetro la sangre fluye rápidamente en respuesta a los cortos gradientes de presión.

### 1.1.2. FUNCIONES DE LAS ARTERIAS

Las arterias de la circulación general sirven como reservorio de presión debido a las propiedades elásticas de sus paredes. El ventrículo izquierdo que se contrae, lanza rápidamente la sangre a la aorta, que se distiende a medida que la presión arterial se eleva. Cuando el ventrículo se relaja, cesa la entrada de sangre a lo largo de los capilares periféricos y la presión arterial descende progresivamente hasta la próxima contracción ventricular (la presión arterial general fluctúa por encima y por debajo de una presión media de 90 mm Hg); de no ser por las propiedades elásticas de las arterias, se desarrollarían presiones elevadas a lo largo de todo el sistema vascular durante la contracción del ventrículo, y la presión de perfusión arterial llegaría a cero entre cada contracción. El arco aórtico susceptible a una gran distensión esta situado inmediatamente hacia abajo de la corriente que emerge del ventrículo izquierdo, realizando una función de amortiguamiento ante la brusca aceleración de la sangre producida por la expulsión del ventrículo izquierdo (ver FIGURA 1-1).

La presión en un tubo elástico es expresión de la tensión ejercida por sus paredes. El aumento de la presión interna puede lograrse por medio de cuatro mecanismos: a) aumento de la distensión por acumulación de líquido, b) contracción activa de las paredes sin cambio del volumen que contiene, c) la compresión externa, y d) los efectos hidrostáticos de las columnas continuas de sangre. Se considera que el sistema arterial tiene un volumen relativamente constante, mientras la presión arterial permanezca fija. Los incrementos relativamente pequeños de los cambios de volumen de las arterias producen grandes cambios en la presión.

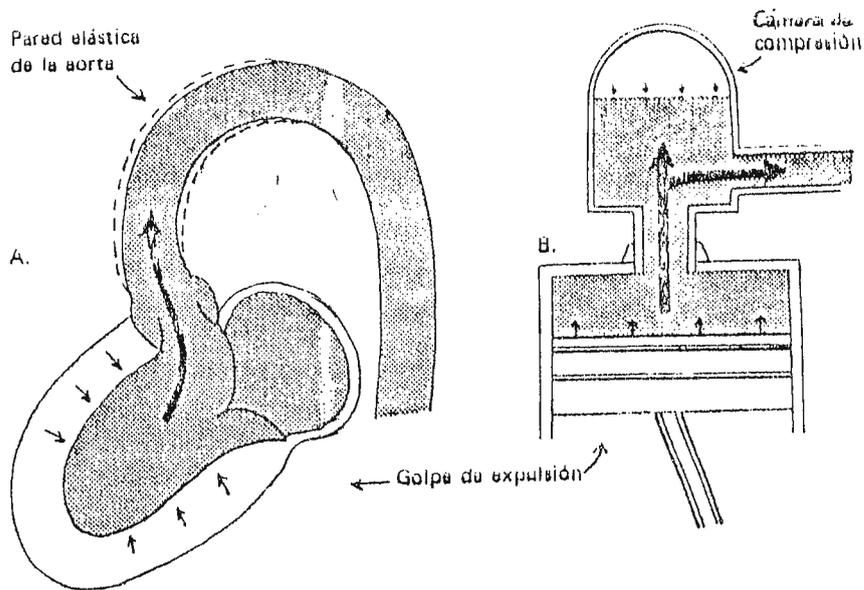


FIG.1-1. El arco aórtico como cámara de compresión.

A. La pared elástica de la aorta se distiende durante la expulsión de sangre del corazón, y almacena la energía de la presión para su liberación gradual durante el intervalo entre los latidos.

B. El aire de una cámara de compresión unida a una bomba de pistón, es sometida a presión durante la expulsión, y se expande nuevamente durante el golpe de llenado, amortiguando así las fluctuaciones violentas de la presión y la corriente.

La onda del pulso arterial en descanso representa una gran fluctuación de la presión, producida por una brusca inyección de 80 ml de sangre en el cabo central del sistema arterial. En contraste una cantidad análoga abandona el sistema venoso en una proporción aproximadamente equivalente durante cada ciclo cardíaco, pero la presión venosa varía solo unos cuantos milímetros de mercurio durante cada ciclo. Este hecho señala las diferencias principales que existen entre el reservorio de la presión arterial, de capacidad relativamente fija, y el reservorio de volumen venoso, de capacidad variable y de baja presión.

## 1.2. CIRCULACION PULMONAR

Los lechos vasculares general y pulmonar están conectados en serie para formar un circuito continuo. A pesar que estos dos sistemas vasculares son superficialmente análogos, existen diferencias importantes entre ellos:

### a) Circulación General:

1. Desempeña sus funciones para servir a muchos tejidos.
2. Requisitos variables.
3. Posee muchos medios para su regulación.
4. Presión elevada.
5. Resistencia muy alta.
6. Columnas hidrostáticas largas.

**b) Circulación Pulmonar:**

1. Sirve a un solo órgano.
2. Ejerce una sola función.
3. Sujeta a escasa regulación.
4. Presión baja.
5. Resistencia baja.
6. Columnas hidrostáticas cortas.

**1.2.1. ANATOMIA DE LA CIRCULACION PULMONAR**

Las ramificaciones del sistema de la arteria pulmonar corren en íntimo paralelismo con las arborizaciones del sistema de los bronquios. En la punta de cada rama terminal se encuentra un bronquiolo que se divide en dos bronquiolos respiratorios, que a su vez se subdividen en dos ramas, cada una de las cuales origina a los conductos alveolares. Los conductos alveolares están conectados a los sacos alveolares. El intercambio gaseoso entre el aire y la sangre puede ocurrir en todas las divisiones situadas más allá de los bronquiolos.

Las presiones normales intravasculares no descienden bruscamente en los pequeños vasos del pulmón debido a:

- (1) No existen arteriolas de alta resistencia muscular en las ramificaciones terminales del árbol vascular.
- (2) Los capilares pulmonares son extraordinariamente voluminosos, difusamente anastomóticos y de calibre relativamente grande.
- (3) Los vasos pulmonares están pasivamente distendidos como respuesta al aumento de la circulación de la sangre pulmonar.
- (4) Existe una gran capacidad de reserva en el pulmón que no es utilizada por completo, excepto en las condiciones de conflicto.

(5) Todos los vasos del árbol vascular pulmonar tienen un calibre un poco mayor que el que corresponde a los vasos de la circulación general.

El efecto neto es de una resistencia pulmonar total al flujo de la sangre que solo es aproximadamente  $1/8$  del que corresponde a la circulación general.

Durante la sístole, la presión pulmonar derecha se eleva hasta aproximadamente 22 mm Hg. Las presiones arteriales pulmonares son en promedio alrededor de  $22/8$  mm Hg, con presión arterial media aproximada de 13 mm Hg. La presión en el punto en que la circulación termina el circuito pulmonar es aproximadamente de 7 mm Hg. Por lo tanto, un gradiente de presión de solo 6 mm Hg obligará a pasar a lo largo del circuito pulmonar la misma cantidad de sangre impulsada a lo largo del circuito general, que tiene un gradiente de presión de 90 mm Hg. El pequeño gradiente de presión que existe entre la arteria pulmonar y la aurícula izquierda es la base para la aseveración de que el circuito pulmonar es un sistema de baja resistencia.

### 1.2.2. FUNCIONES DE LA CIRCULACION PULMONAR

El circuito pulmonar ejecuta tres funciones: a) intercambio gaseoso de oxígeno y bióxido de carbono entre el aire alveolar y la sangre, b) almacenamiento de sangre en un reservorio de volumen variable, y c) bloqueo de partículas extrañas, coágulos y otros tipos de émbolos que circulan por la sangre venosa de la circulación general.

#### 1.2.2.1. INTERCAMBIO DE GASES. FUNCION PRINCIPAL DE LOS PULMONES

La sangre que pasa por los capilares de los alvéolos pulmonares se extiende eficazmente en una capa aproximadamente de 10  $\mu$  de espesor y 100 m<sup>2</sup> de superficie. El aire alveolar es separado de la hemoglobina de la sangre por el epitelio alveolar, una membrana basal muy delgada, el endotelio capilar, una capa de plasma y la membrana del glóbulo rojo.

#### 1.2.2.2. FUNCION DE RESERVORIO

Como los vasos pulmonares constituyen un sistema distensible de baja presión, cualquier leve aumento de la presión de salida del ventrículo izquierdo o el aumento relativo de la entrada de sangre que proviene del ventrículo derecho, puede ser la causa de que se acumulen cantidades considerables de sangre dentro de los pulmones. Este volumen de reserva parece distribuirse de manera difusa por los pulmones donde es mantenido marcando el tiempo hasta que es retirado de ahí para efectuar el rápido reajuste de la circulación, necesario para un gasto cardíaco mayor.

#### 1.2.2.3. ACCION DE FILTRO

Si los cuerpos extraños tales como coágulos, burbujas de aire o partículas de grasa entran al sistema arterial de la circulación general, pueden ocasionar la oclusión de una arteria terminal dentro de algún órgano. Este hecho reduce o elimina la circulación de los tejidos proporcionada por esa rama arterial, y las células frecuentemente mueren. En virtud de la doble circulación, el árbol vascular pulmonar está particularmente

adaptado para filtrar estas impurezas vasculares circulantes que constituyen tapones, sin sufrir su propia destrucción. El tejido pulmonar afectado sobrevive mientras el émbolo es resorbido o recanalizado, después de lo cual reanuda su actividad (ver FIGURA 1-2).

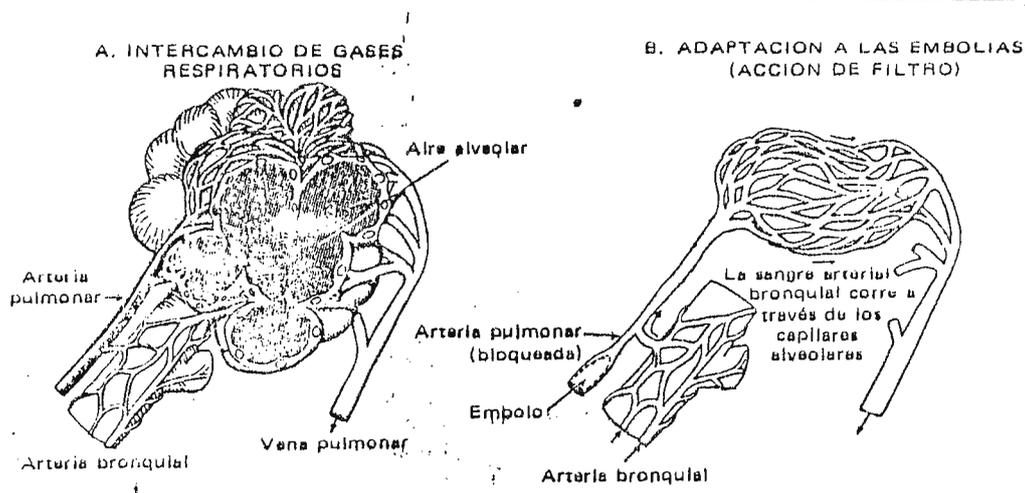


FIG.1-2. Funciones del Pulmón.

A.El intercambio de gases, que es la principal función de los pulmones, ocurre como resultado de las concentraciones más elevadas de oxígeno y las concentraciones más bajas de bióxido de carbono en el aire alveolar, que en la sangre venosa que llega a los capilares pulmonares.

B.La obstrucción embólica de las arterias pulmonares no producen necrosis de parénquima pulmonar porque la sangre arterial bronquial es desviada por medio de conductos dilatados, hasta los capilares alveolares. Como resultado de esta doble provisión sanguínea, los pulmones pueden servir como filtros para los émbolos, sin sufrir autodestrucción.

### 1.3. ANATOMIA FUNCIONAL DE LA CONTRACCION CARDIACA

La sangre es impulsada a lo largo de los conductos vasculares ramificados por la energía representada por los gradientes de presión que son muy cortos en las arterias y las venas, y muy altos en los sitios en que la resistencia es regulada. A medida que la sangre fluye a lo largo de los diversos conductos, se disipa la energía de la presión debido a la fricción. La energía perdida durante la circulación de la sangre es restaurada por la contracción cardíaca. Los dos requisitos fundamentales del aparato cardiovascular son: a) circulación de la sangre sin interrupción y b) adaptación de la corriente sanguínea en respuesta a las diversas demandas de los tejidos. Si la circulación es interrumpida, la supervivencia del individuo se ve amenazada pues se producen daños permanentes en tejidos lábiles como el cerebro. Por esta razón el corazón debe latir repetidamente y sin interrupción durante toda la vida; y además debe adaptar su gasto para equilibrar el flujo total que se modifica constantemente.

#### 1.3.1. CONTRACCION MUSCULAR

Las paredes del corazón están compuestas de haces y hojas de fibras miocárdicas entrelazadas de manera muy compleja. Existen dos tipos de miofilamentos: filamentos gruesos y delgados, los cuales están unidos por un sistema muy complejo de puentes transversales que se proyectan desde las fibras gruesas, a intervalos regulares. Los dos tipos de miofilamentos han sido identificados en relación con las bandas transversales del músculo (ver FIGURA 1-3). Los filamentos delgados se extienden en ambas direcciones a partir de la banda Z. La banda oscura A esta

ocupada por los filamentos gruesos, que se entrecruzan parcialmente con los filamentos delgados que se encuentran sobre los primeros. La zona central clara (zona H) de la banda A representa la región ocupada solo por los filamentos más gruesos.

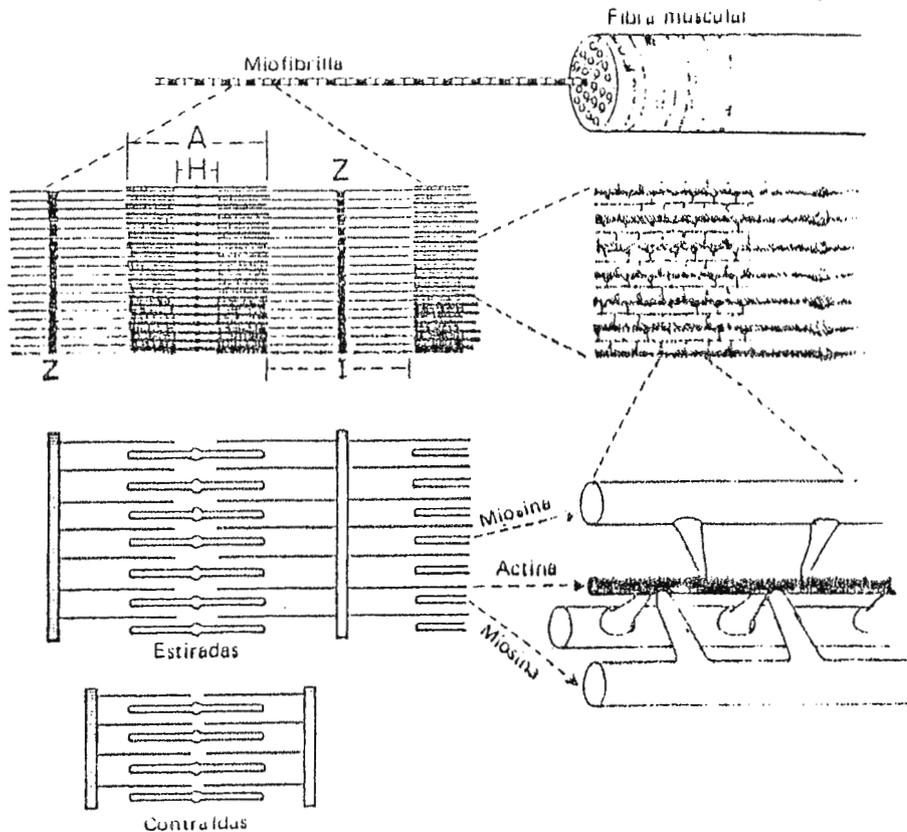


FIG.1-3. Contracción Muscular.

Las miofibrillas están compuestas de gruesos filamentos de miosina y de filamentos delgados de actina que se entrecruzan. La longitud del entrecruzamiento disminuye durante el estiramiento y aumenta durante la contracción. A intervalos regulares se observan muchos puentes transversales entre los filamentos de actina y de miosina; estos puentes transversales han sido considerados como eslabones que se forman en sitios específicos de las fibras de actina, que las acercan durante la contracción.

Se ha determinado un modelo de contracción cardíaca por deslizamiento. Las bandas A conservan su longitud constante tanto durante la contracción como durante el estiramiento. Las bandas I se acortan en relación con el acortamiento del músculo. A medida que el ancho de las bandas I disminuye, la zona H se encoge y estos dos juegos de filamentos se deslizan uno por detrás del otro. Las puntas de los filamentos pueden encontrarse y deformarse en los grados extremos de acortamiento, y aparecen los nuevos conjuntos de bandas en los puntos de contacto. Los ligamentos delgados son de actina, y los filamentos gruesos son de miosina. Los puentes transversales oscilan y son capaces de formar uniones en lugares específicos de los delgados filamentos de actina y acercarlos a corta distancia.

f

Los mecanismos contráctiles son semejantes en las diversas clases de músculo, las principales diferencias en sus funciones se originan en diferencias que existen en los mecanismos para la excitación y la regulación de tales músculos. El miocardio se parece al músculo estriado superficialmente en su estriación transversal, en el color, y en la velocidad, fuerza y duración de sus contracciones; pero en realidad, éste se parece más íntimamente al músculo liso visceral respecto a sus características y su regulación funcional. El músculo liso se clasifica en dos grupos principales: a) músculo liso de unidades múltiples, que se encuentra en el sistema vascular periférico y en la vejiga, el cual está directamente inervado por los músculos motores que tienen su origen en el sistema nervioso autónomo, cuya excitación y regulación es muy parecida al músculo estriado; y b) músculo liso visceral, que se encuentra en el uréter, útero y tubo digestivo, que no está directamente inervado por nervios motores.

Las ondas de excitación nacen en las fibras musculares y se propagan a todas las células contiguas, por lo que la actividad eléctrica del músculo liso visceral es análoga a la del miocardio, pero muy diferente a la que corresponde al músculo estriado. El músculo liso visceral es regulado por el sistema nervioso autónomo por medio de la liberación de sustancias hormonales y no por la inervación motora directa.

### 1.3.2. COMPONENTES ANATOMICOS DEL CORAZON

Cuatro anillos de denso tejido conectivo se unen para formar un solo esqueleto fibroso de corazón. Las aurículas, los ventrículos, las válvulas y los troncos arteriales están firmemente unidos a ese esqueleto (ver FIGURA 1-4). Las dos aurículas parecen una copa poco profunda, de delgadas paredes, formadas por tejido miocárdico y divididas por un tabique en el centro. Los márgenes del caparazón auricular quedan unidos a la superficie superior de los anillos valvulares mitral y tricuspídeo. La aorta y la arteria pulmonar nacen en la superficie superior de los correspondientes anillos valvulares semilunares. Las cámaras auriculares y los troncos arteriales están anclados a la superficie superior del esqueleto fibroso. Los conductos de entrada y salida de cada ventrículo están situados uno al lado del otro. Las válvulas auriculoventriculares (A-V) se insertan en la superficie inferior de los anillos valvulares mitral y tricuspídeo, con el tejido fibroso conectivo que se encuentra en la raíz de cada valva valvular y se funde con el del anillo valvular correspondiente. Las cuerdas tendinosas que se extienden de los márgenes inferiores de cada valva de las válvulas auriculoventriculares, se insertan directamente en la superficie interna de las paredes ventriculares y en los músculos

papilares.

Los ventrículos derecho e izquierdo se insertan en la circunferencia entera del esqueleto fibroso del corazón. El margen superior del septum interventricular queda adherido a lo largo de la línea de unión que se encuentra entre los anillos valvulares mitral y tricúspide. La porción membranosa del septum se adhiere a la unión de los anillos valvulares pulmonar y aórtico.

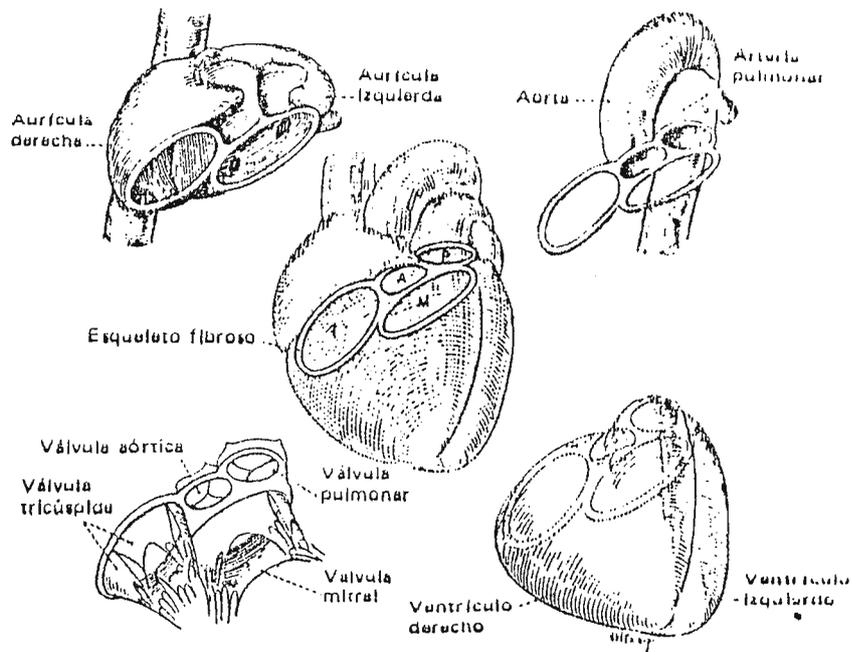


FIG.1-4. Componentes Anatómicos del Corazón.

El esqueleto fibroso del corazón consiste en cuatro anillos valvulares unidos entre sí. A estos anillos fibrosos de denso tejido conectivo quedan unidos los dos troncos arteriales principales y las cuatro cámaras cardíacas. Las aurículas y los troncos arteriales están unidas a la superficie superior de este esqueleto fibroso, y los ventrículos y las valvas de la válvula auriculoventricular, se insertan en su cara inferior.

### 1.3.3. ANATOMIA FUNCIONAL DE LAS VALVULAS CARDÍACAS

Las válvulas cardíacas son sencillas y eficaces, se abren y cierran rápidamente, quedando cerradas completamente en contra de elevadas presiones; además sus valvas de apariencia delicada resisten la repetida oclusión exigida.

#### 1.3.3.1. VALVULAS SEMILUNARES

Las válvulas aórtica y pulmonar son semejantes y cada una de ellas esta formada por tres valvas simétricas. Dos valvas de igual tamaño podrían cerrar con fuerza suficiente pero no se abrirían por completo sin verse sometidas a considerable estiramiento elástico. Tres valvas pueden abrirse hasta proporcionar las dimensiones completas del anillo valvular y producir un cierre perfecto cuando se acercan por sus bordes. Detrás de las valvas de la válvula aórtica se encuentran tres pequeñas bolsas que evitan la obstrucción de la boca de las arterias coronarias.

#### 1.3.3.2. VALVULAS AURICULOVENTRICULARES

Las válvulas tricúspide y mitral son más grandes y más complicadas que las válvulas semilunares. La distinción anatómica que existe entre la válvula mitral y la válvula tricúspide es en gran parte artificial, porque ambas válvulas consisten de dos grandes valvas opuestas, y una pequeña valva intermedia en cada extremo; sin embargo, las cuerdas tendinosas de la válvula tricúspide se insertan sobre tres grupos suficientemente separados de músculos papilares, mientras que solo dos músculos papilares sirven a la válvula mitral.

### 1.3.3.3. VALVULA MITRAL

Esta válvula queda interpuesta entre la aurícula izquierda en donde la presión es baja, y el ventrículo izquierdo en donde la presión es muy elevada. Las dos valvas valvulares son desiguales en tamaño, la gran valva aórtica cuelga como una cortina entre los orificios mitral y aórtico, mientras que la valva mas corta nace de las partes laterales del anillo mitral. El área superficial combinada de las dos valvas valvulares es aproximadamente dos veces mayor que la del orificio mitral que deben cerrar. Las cuerdas tendinosas corresponden a líneas de tirantes múltiples que se extienden desde los músculos papilares hasta la estructura misma de las valvas valvulares.

### 1.3.4. COORDINACION DEL LATIDO CARDIACO

Para producir trabajo eficaz de bombeo, la compleja masa de fibras miocárdicas debe contraerse más o menos simultáneamente. La contracción coordinada de los haces miocárdicos tiene su origen en la continuidad funcional de las fibras miocárdicas; la excitación comienza en un solo sitio, y se extiende a todas las zonas contiguas. La excitación de las paredes ventriculares gruesas se realiza por medio de un sistema de conducción rápida de fibras de Purkinje. El sistema de conducción es responsable de la iniciación periódica de la excitación, del retardo que existe entre la contracción auricular y la ventricular, y la rápida propagación de la excitación a todas las porciones de las paredes ventriculares, de forma que la contracción sea suficientemente simultánea para producir acción eficaz de bombeo.

#### 1.3.4.1. SISTEMAS DE CONDUCCION DEL CORAZON

El nodo sinoauricular (S-A) es una pequeña masa de tejido miocárdico especializado, encajado en la pared auricular cerca de la entrada de la vena cava superior (ver FIGURA 1-5). Este nodo determina la frecuencia cardíaca normal que da lugar espontáneamente a ondas de excitación que se extienden a velocidad mas rápida que en cualquier otra parte del corazón. El nodo sinoauricular retiene su posición como determinador de la frecuencia cardíaca para todo el corazón mientras genere impulsos a frecuencia mayor que cualquier otra región del miocárdio.

#### 1.3.4.2. ORDEN EN QUE SE PRESENTA LA EXCITACION

La onda de excitación que se origina en el nodo sinoatrial se extiende en todas direcciones y viaja a una velocidad aproximada de 1 m/s, llegando a las porciones más distantes de la aurícula aproximadamente en 0.08 segundos. A medida que se acerca al septum interauricular, la onda de excitación llega a otra masa de tejido especializado de conducción que es el nodo auriculoventricular (A-V), el cual esta situado al lado derecho del septum interauricular, muy cerca de la entrada del seno coronario (ver FIGURA 1-6). Cuando la onda de excitación llega al nodo A-V no pasa directamente a los ventrículos sino que se retarda durante intervalos que oscilan entre 0.08 y 0.12 segundos. Este retardo se debe a la conducción lenta a lo largo de las fibras muy delicadas que unen el miocardio auricular con el tejido nodal A-V. El nodo A-V es el extremo esférico de un haz de fibras de Purkinje, el haz de His, el cual alcanza al margen superior del septum muscular interventricular.

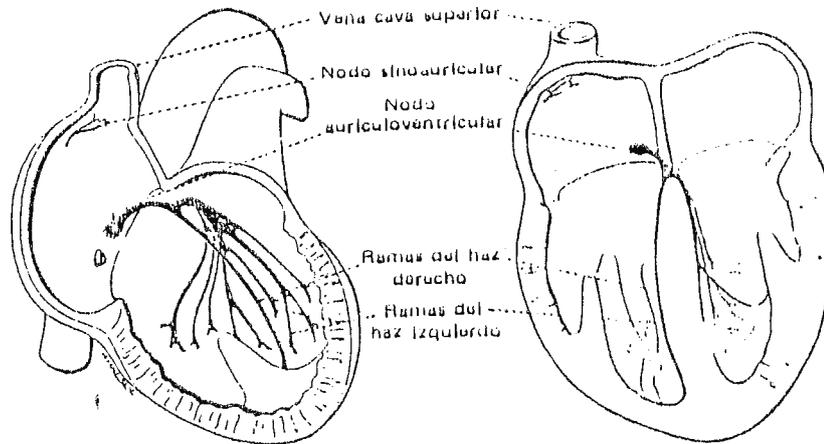


FIG.1-5. Sistema de Conducción del Corazón.

El nodo sinoauricular es el determinador normal de la frecuencia del corazón. El nodo atrioventricular, el haz común y las ramas de los haces conducen la onda de excitación desde la aurícula hasta el miocardio ventricular.

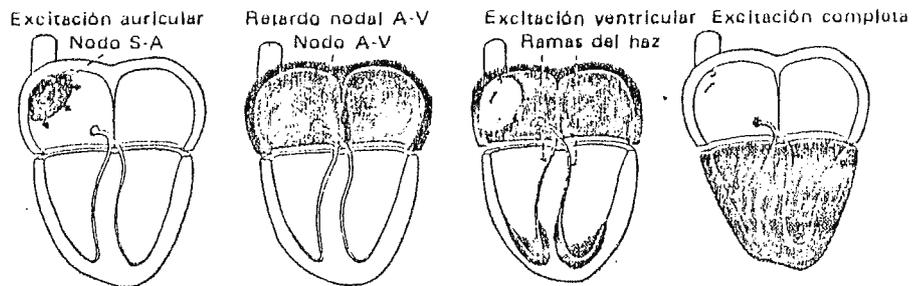


FIG.1-6. Orden en que se Presenta la Excitación Cardíaca.

La excitación del corazón se inicia normalmente por medio de un impulso que es generado por el nodo S-A, que se extiende rápidamente en todas direcciones a través de la musculatura auricular. Después de un ligero retardo en el nodo A-V, se extiende desde la superficie endocárdica a la musculatura ventricular.

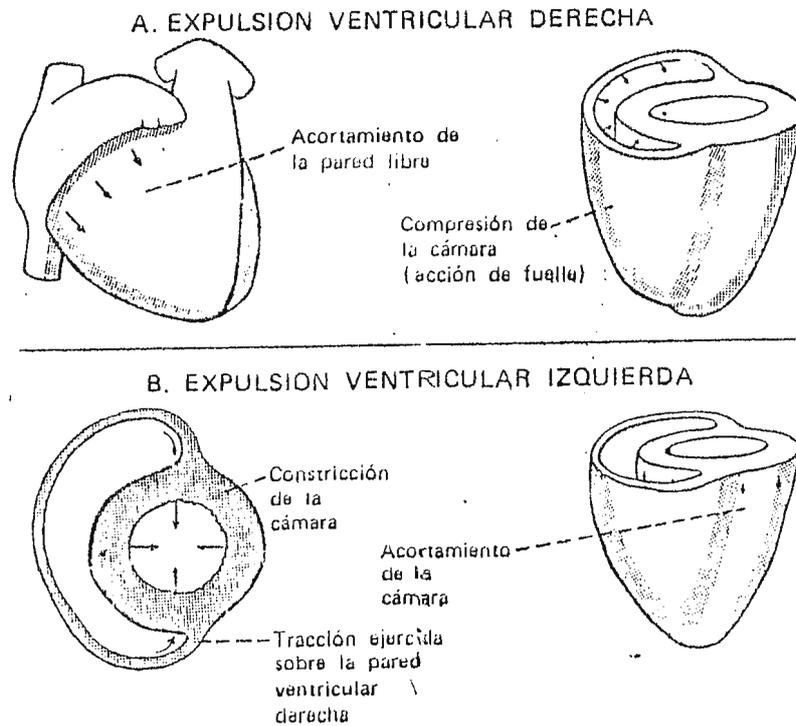
En este lugar el haz se divide en dos ramas, las ramas derecha e izquierda, que descienden en lados opuestos del septum interventricular. Estas a su vez se ramifican y forman la red de fibras de Purkinje que se distribuyen sobre la superficie interna de las cámaras ventriculares. Después de salir del nodo A-V, la onda de excitación pasa rápidamente (4 a 5 m/s) a lo largo de las fibras de Purkinje del haz común y de las ramas del haz.

#### 1.3.4.3. CONTRACCION DEL VENTRICULO DERECHO

La sangre es expulsada desde el ventrículo derecho por tres mecanismos separados que se presentan casi simultáneamente (ver FIGURA 1-7A): a) la contracción de los músculos espirales, que acerca el anillo valvular tricuspídeo hacia la punta del corazón y acorta el eje longitudinal de la cámara. b) La pared libre del ventrículo derecho se mueve hacia la superficie convexa del septum interventricular. c) La contracción de las fibras circulares profundas que rodean la cavidad del ventrículo izquierdo deben producir mayor curvatura del septum interventricular. El ventrículo derecho está específicamente adaptado a la tarea de bombear grandes volúmenes, o volúmenes variables de sangre en contra de una presión muy baja de expulsión de salida.

#### 1.3.4.4. CONTRACCION DEL VENTRICULO IZQUIERDO

Esta comprende tanto la reducción del diámetro de la porción cilíndrica como acortamiento en el sentido del eje longitudinal de la cámara. La contracción de los haces musculares dispuestos en circunferencia actúa para reducir el diámetro de la cámara (ver FIGURA 1-7B).



**FIG.1-7. Componentes de la Contracción Ventricular.**

A. La sangre es expulsada del ventrículo derecho por acortamiento de la pared libre con desplazamiento hacia abajo del anillo valvular de la tricúspide, y el movimiento de la pared libre hacia el septum interventricular, por acortamiento miocárdico. La compresión de la cavidad ventricular derecha puede ser complementada por tracción ejercida sobre la pared libre como resultado de la contracción ventricular izquierda.

B. La expulsión del ventrículo izquierdo es realizada primordialmente por medio de la reducción del diámetro de la cámara con cierto acortamiento adicional del eje longitudinal.

Esta acción explica la mayor parte de la potencia y del volumen de la expulsión. En contraste con el ventrículo derecho, la cavidad ventricular izquierda tiene un área superficial pequeña en relación con el volumen contenido. El ventrículo izquierdo esta arquitectónicamente ideado como una bomba de alta presión, lo cual proporciona la energía para el flujo de la sangre en la circulación general en donde la presión y la resistencia son elevadas. El ventrículo izquierdo posee menor adaptabilidad para expulsar grandes volúmenes de sangre.

#### 1.3.4.5. EFECTOS MECANICOS DE LA CONTRACCION CARDIACA

Los cambios cíclicos de las diversas dimensiones de los ventrículos se combinan para producir de manera alternativa expansión y contracción del volumen ventricular total. Durante la porción final de la diástole, la presión ventricular iguala a la presión auricular porque las dos cámaras están unidas por medio de los amplios orificios A-V y no fluye sangre entre ellas. La onda de excitación que se propaga por la aurícula va seguida de la contracción auricular. La contracción aumenta ligeramente tanto las presiones auricular como intraventricular. A medida que la aurícula se contrae la sangre puede ser desplazada a las cámaras ventriculares o hacia atrás en dirección de los grandes conductos venosos.

La excitación de los ventrículos se inicia en el momento en que se completa la contracción auricular, y la contracción ventricular comienza aproximadamente 0.0075 segundos más tarde. La presión ventricular se eleva para sobrepasar la presión arterial durante el período de contracción isométrica, que dura aproximadamente 0.013 segundos en el ventrículo derecho y

aproximadamente 0.06 segundos en el ventrículo izquierdo. Durante este período el volumen ventricular permanece sin modificación, excepto en lo que se refiere al movimiento de la sangre necesaria para cerrar y desplazar las válvulas. Este período de contracción isovolumétrica está caracterizado por ligera reducción del volumen ventricular registrado, y leve aumento de la presión auricular debido a la modificación de forma de las válvulas A-V, que se hacen convexas. Las aurículas se relajan y comienzan a llenarse durante la sístole ventricular. La contracción isovolumétrica del ventrículo termina cuando la presión ventricular excede a la presión arterial y va seguida de rápida expulsión de la sangre al sistema arterial.

Durante la porción inicial de la expulsión sistólica, las presiones ventriculares se elevan por encima de la presión que existe en los conductos arteriales. Este gradiente transitorio de presión produce rápida aceleración de la salida de sangre para producir el apogeo del flujo sanguíneo. Durante la última porción de la sístole, la presión ventricular disminuye ligeramente por debajo de la presión de la arteria correspondiente, a pesar de que el volumen ventricular continúa disminuyendo, lo que indica una salida persistente de sangre.

Las presiones intraventricular y arterial tienden a equilibrarse y descienden a medida que la expulsión del ventrículo disminuye más abajo del volumen al que la sangre abandona el sistema arterial a través de los capilares. El principio de relajación ventricular va asociado con repentina disminución de la presión ventricular por debajo de la presión arterial. Las válvulas semilunares se aproximan por una oleada retrógrada de sangre hacia el nacimiento de la aorta. Durante la relajación

isovolumétrica, la presión ventricular cae rápidamente por debajo de la presión auricular. Las válvulas A-V se abren por completo antes de que un chorro de sangre pase desde la aurícula al ventrículo. Los ventrículos se llenan rápidamente con sangre que proviene de las venas torácicas y de las aurículas. La longitud del intervalo diastólico es determinada por el tiempo necesario para que el regulador de la frecuencia cardíaca descargue una nueva onda de excitación que inicia otro ciclo cardíaco.

#### 1.4. METODOS DE MEDICION DE LA CORRIENTE SANGUINEA

##### 1.4.1. ALGUNOS METODOS EXPLORATORIOS DEL VOLUMEN

Si el flujo de líquido se define como el cambio de volumen o el desplazamiento de determinado volumen por unidad de tiempo ( $dV/dt$ ), el método más directo consiste en usar aparatos muy sensibles que exploren y respondan a los cambios de volumen. Un recipiente volumétrico y un contador de tiempo sirven como normas para calibrar los fluxómetros (este método es utilizado actualmente para calcular el flujo sanguíneo en el equipo de circulación extracorpórea). El fluxómetro de burbuja, los contadores de gotas y los pletismógrafos siguen todos los cambios de volumen que pueden ser calibrados según la magnitud del flujo de la sangre. Para medir directamente el flujo sanguíneo desde el punto de vista volumétrico, se requiere tener acceso al volumen total de la sangre que fluye a través de un vaso sanguíneo, lo cual requiere etapas preliminares inconvenientes tales como la canulación o la exposición por medios quirúrgicos. Notable excepción es el pletismógrafo de oclusión venosa, por medio del cual la entrada de sangre arterial se reúne dentro de las venas y es medido por un aparato explorador de volumen con la limitante

de ser aplicable solo a redes vasculares periféricas accesibles.

#### 1.4.2. APARATOS EXPLORATORIOS DE ENERGIA

El contenido energético de la sangre que se mueve puede ser usado para activar aparatos sensibles como los tubos de Pitot, los venturímetros, los medidores de orificios, los medidores de rotación y los fluxómetros de orda. El fluxómetro de catéter de Pieper responde al momento mecánico del flujo de la sangre que golpea sobre una pequeña placa expuesta a la sangre que corre a lo largo de un conducto. La magnitud del flujo a lo largo de una arteria puede ser calculada continuamente a juzgar del gradiente de presión medido en dos sitios a distancias conocidas a lo largo de catéteres de doble luz y de transductores cuidadosamente apareados para medir la presión.

#### 1.4.3. MEDICIONES INDIRECTAS

La mayoría de mediciones de corriente sanguínea en el hombre provienen de técnicas mediante las cuales el flujo sanguíneo es calculado por medición de la concentración de sustancias en la sangre o los tejidos. Los flujos sanguíneos obtenidos a juzgar por el transporte de oxígeno o la dilución de algún indicador son muy útiles, pero comparten dos deficiencias comunes: la magnitud del flujo puede ser calculada solo por el estudio de corrientes de tránsito lento lo cual no permite medir las modificaciones rápidas; y, la obtención de muestras requiere la extracción de sangre utilizando procedimientos que comprenden la inserción de agujas o catéteres a través de la piel, hasta llegar al vaso sanguíneo correspondiente.

#### 1.4.3.1. PROCEDIMIENTOS PARA LA MEDICION DE LA ENERGIA EXTERNA

La velocidad a la que el calor es arrastrado de una fuente térmica constituye una medida indirecta para calcular el flujo. Este procedimiento tiene una fuente común de incertidumbre debida al hecho de que el calor fluye fácilmente entre los medios continuos de todas clases, es decir, es muy difícil reducir la energía térmica a la contenida en la sangre o en un solo tejido. Las ondas electromagnéticas y ultrasónicas han dado lugar a nuevos tipos de procedimientos para estudiar la corriente sanguínea.

#### 1.4.3.2. FLUXOMETROS ELECTROMAGNETICOS

Si una cinta o tira muy delgada de metal se mueve a través de los polos de un magneto, se genera una diferencia de voltaje en la cinta metálica de acuerdo con la ley de inducción de Faraday. El voltaje inducido puede ser registrado empleando electrodos que entren en contacto con la tira metálica. Una solución iónica como el plasma sanguíneo es también un conductor eléctrico. Si la sangre corre entre los polos de un magneto, puede registrarse una diferencia de potencial entre los electrodos que entran en contacto eléctrico con el líquido (ver FIGURA 1-8).

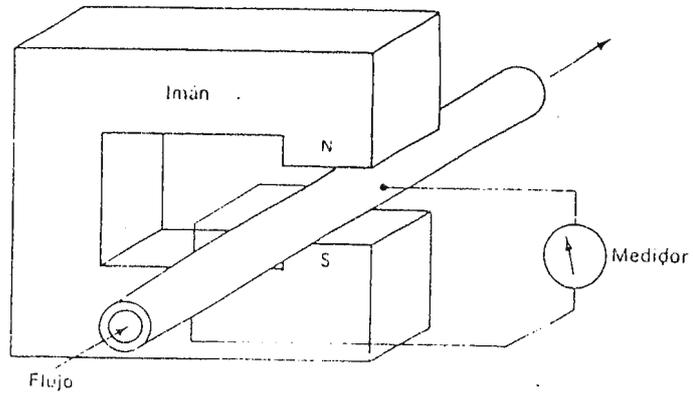


FIG. 1-8.de Funcionamiento del  
Fluxómetro Electromagnético

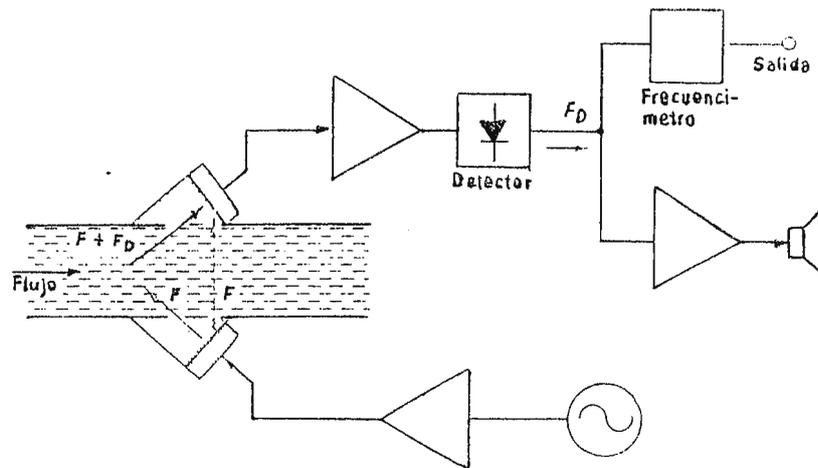


FIG. 1-9. Fluxómetro por Ultrasonido Tipo Doppler

#### 1.4.3.3. EXPLORACION DE LA ENERGIA DESARROLLADA POR LA CORRIENTE SANGUINEA POR MEDIOS PULSATILES ULTRASONICOS

Se ha desarrollado un aparato que descubre y mide la corriente sanguínea utilizando explosiones de ultrasonido, basándose en el principio de que el sonido viaja mas rápidamente en los líquidos cuando se mueven en el mismo sentido de la corriente que en sentido contrario a ella. En otras palabras, el sonido empleara mayor tiempo para viajar en contra de la corriente entre dos puntos que para viajar en el sentido mismo de la corriente. Si la separación de los dos puntos y la velocidad del sonido en el medio en quietud son datos conocidos, entonces, la velocidad del medio puede ser calculada y registrada, basados en la diferencia del tiempo de tránsito en sentido contrario a la corriente y en el sentido mismo de la corriente.

#### 1.4.3.4. ESTUDIO DE LA CORRIENTE SANGUINEA POR MEDIO DEL EFECTO DOPLER

Si un rayo continuo de ultrasonido es transmitido diagonalmente por una columna de sangre, una pequeña fracción de la energía sónica se propaga hacia atrás, llevada por partículas de sangre que alcanzan a un receptor situado en la parte opuesta del conducto. Si la sangre esta en reposo, la frecuencia ultrasónica en el receptor es la misma que la frecuencia del transmisor. Sin embargo, si la sangre se encuentra en movimiento, ocurre un efecto Doppler en la frecuencia, de tal manera que el ultrasonido llega al receptor, pero difiere de la frecuencia transmitida, por una cantidad que depende en parte de la velocidad con la que se mueven las partículas que van hacia atrás (ver FIGURA 1-9).

### 1.5. GASTO CARDIACO

El gasto cardíaco es determinado multiplicando la frecuencia cardíaca por el volumen de cada contracción. El volumen de la contracción es el volumen de sangre que se encuentra en el ventrículo al final de la sístole. El grado de expulsión sistólica depende del grado de acortamiento que puede alcanzar el miocardio ventricular mientras trabaja en contra de la presión arterial. Los cambios de las propiedades contráctiles del miocardio se manifiestan de distintas maneras, afectan la frecuencia, la cantidad y duración del desarrollo de tensión, el acortamiento y la relajación. La regulación cardíaca esta determinada por los siguientes factores: 1) frecuencia cardíaca, 2) presión de distensión, 3) capacidad de distensión ventricular, 4) propiedades contráctiles del miocardio, y 5) presión arterial.

#### 1.5.1. REGULACION DE LA FRECUENCIA CARDIACA

La frecuencia cardíaca es determinada por la frecuencia con que el nodo sinoauricular (S-A) genera los impulsos que se propagan a toda la aurícula y finalmente activan al corazón. Cualquier fibra miocárdica puede ser capaz de generar un impulso conducido, pero el nodo S-A retiene su papel como regulador de la frecuencia del corazón: 1) mientras que genere impulsos mas rápidamente que cualquiera otra parte del corazón, y 2) mientras el sistema de conducción funcione normalmente. La frecuencia cardíaca se ajusta normalmente por medio de un cambio en la velocidad de la descarga del nodo S-A.

### 1.5.2. REGULACION AUTONOMA DEL LATIDO CARDIACO

En la base del cerebro, en la región del bulbo raquídeo, se encuentra la región en que la estimulación eléctrica produce los efectos mas amplios tanto sobre la frecuencia cardíaca como sobre la resistencia vascular periférica. Una aceleración de la frecuencia cardíaca por sí sola no es un mecanismo muy eficaz para aumentar el gasto cardíaco sin que intervengan mecanismos adicionales para sostener o aumentar el volumen por latido. La frecuencia cardíaca puede ser ajustada de un modo muy preciso equilibrando los efectos retardantes de las descargas vagales contra los efectos aceleradores de la estimulación simpática. Los centros bulbares de la regulación cardíaca y de los vasos periféricos son importantes para la regulación de la presión arterial.

### 1.5.3. ORIGEN DE LOS NERVIOS AFERENTES QUE CONVERGEN EN LOS CENTROS CARDIOREGULADORES

Los nervios vago y simpático conducen impulsos que dan como resultado un bombardeo mas o menos continuo de los centros cardioaceleradores y cardioinhibidores por medio de los nervios aferentes que provienen de todo el organismo. Los centros cardiorreguladores son infundidos por fibras aferentes que corresponden a las que intervienen sobre el trabajo de los centros vasomotores. Los impulsos de la corteza cerebral influyen sobre los centros cardiorreguladores y cardioinhibidores. Los cambios de la presión arterial se reflejan en cambios que corresponden a la frecuencia de los impulsos que parten de los barorreceptores, que a su vez influyen sobre los centros cardiorreguladores y la frecuencia cardíaca. La estimulación de

los órganos internos puede producir inhibición cardíaca muy notable. Por ejemplo, la estimulación de las terminaciones nerviosas de la parte superior del aparato respiratorio puede producir depresión vagal intensa de la frecuencia cardíaca. El aumento de la frecuencia cardíaca acompañada de disminución del volumen por latido no es un mecanismo eficaz para aumentar el gasto cardíaco total.

#### 1.5.4. REGULACION DEL VOLUMEN POR LATIDO

El corazón es notable por su capacidad de compensar las condiciones variables por medio de ajuste o adaptación de la frecuencia cardíaca, en el volumen final del período de repleción (volumen diastólico), y el volumen que permanece en los ventrículos al final de la expulsión (volumen sistólico). Los factores que influyen sobre el volumen por latido se agrupan en los siguientes apartados: la geometría, las propiedades intrínsecas del miocardio y los mecanismos de regulación externa.

##### 1.5.4.1. FACTORES GEOMETRICOS

A pesar de las grandes diferencias que existen en su forma, del grueso de la pared y de la resistencia a la salida de la sangre, los dos ventrículos deben expulsar los mismos volúmenes promedio durante cualquier periodo de tiempo.

#### 1.5.4.1.1. GRADO DE ACORTAMIENTO MIOCÁRDICO EN DIFERENTES MUSCULOS DEL CORAZON

Los diversos haces miocárdicos de los ventrículos están orientados en diferentes direcciones y describen círculos de distintos diámetros, de manera que el grado de acortamiento miocárdico debe variar ampliamente en cada una de las distintas capas. La capa interna del miocardio debe acortarse mas que las capas externas. El grueso de las paredes ventriculares debe aumentar durante la sístole y disminuir durante la diástole.

#### 1.5.4.1.2. RELACION DEL VOLUMEN DIASTOLICO SEGUN EL GRADO DE ACORTAMIENTO MIOCÁRDICO

El grado de acortamiento miocárdico puede reducirse sin que cambie el volumen por latido si la distensión diastólica de los ventrículos aumenta. El grado de acortamiento miocárdico necesario para expulsar determinado volumen por latido es mucho menor si la longitud inicial de la fibra (volumen diastólico) es mayor. Cuando el volumen diastólico es grande, un volumen por latido relativamente grande puede ser expulsado con grados pequeños de acortamiento miocárdico. Como la pared libre del ventrículo derecho corresponde a un segmento de una gran esfera, mientras que el ventrículo izquierdo se parece a un cilindro, el acortamiento miocárdico comparable de las dos cámaras producirá volúmenes por latido mucho mayores en el ventrículo derecho que en el izquierdo. Ambos ventrículos deben expulsar en general iguales cantidades, de manera que el grado de acortamiento miocárdico no puede ser igual en los dos ventrículos.

#### 1.5.4.2. FACTORES QUE SE OPONEN AL VACIAMIENTO VENTRICULAR COMPLETO

Las fibras musculares no pueden acortarse hasta adoptar una longitud infinitamente pequeña. Si todas las fibras miocárdicas disminuyeran el 20% de su longitud original, la capa interna de las fibras circunferenciales alcanzaría este valor y dejaría de contribuir a toda clase de tensión, mientras que las capas externas podrían ser capaces de contraerse todavía más; el acortamiento posterior de las capas externas requeriría un gasto de energía para producir múltiples pliegues y deformaciones de las capas internas. Las trabéculas carnosas representan pliegues preformados y se combinan con los músculos papilares para ocupar espacio en los ventrículos. Esto permite una expulsión sistólica más completa que lo que sería posible si las paredes internas de las cámaras ventriculares fueran lisas.

De acuerdo con la fórmula de Laplace ( $P=T/R$ ), la presión ( $P$ ) desarrollada por un grado en particular de la tensión de la pared ( $T$ ), es inversamente proporcional al radio ( $R$ ) de la cámara. Esta ley fue invocada para explicar la diferencia que existe entre los gruesos de la pared de la aorta y los capilares de la circulación general cuando estas estructuras tan enormemente diferentes sostienen presiones de la misma magnitud. Por otro lado, si el volumen diastólico aumenta, se necesitara mayor tensión miocárdica para desarrollar un grado determinado de presión intraventricular.

#### 1.5.4.3. RETROCESO DIASTOLICO

Las paredes ventriculares están compuestas de fibras miocárdicas orientadas en diversas direcciones, por lo cual una parte de la tensión contráctil desarrollada por las fibras puede gastarse en desarrollar tensión entre fibras adyacentes o produciendo pliegues, distorsión y compresión de las capas internas del músculo (ver FIGURA 1-10). Esta tensión se acumulará durante el período de la expulsión sistólica y será liberada en forma de retroceso diastólico cuando las fibras miocárdicas se relajen. Al inicio del intervalo diastólico, las paredes ventriculares parecen abombarse hacia afuera para producir la repleción abrupta. Esta repleción extraordinariamente rápida al principio de la diástole tiene una gran importancia funcional, particularmente en presencia de las grandes frecuencias cardíacas con breves intervalos de repleción diastólica. La rápida frecuencia del corazón usualmente va acompañada de expulsión mas completa. Mientras mas completa la expulsión sistólica, mayor será la cantidad y velocidad del retroceso diastólico.

#### 1.6. CALCULO CLINICO DEL GASTO CARDIACO

La medición directa de las funciones cardíacas en el hombre, a pesar de que son convenientes, son virtualmente imposibles, porque el corazón es totalmente inaccesible a la determinación ya sea del volumen por latido o del volumen absoluto. Sin embargo, existen diversas técnicas para determinar el gasto cardiaco por métodos indirectos, algunas de las cuales se describirán a continuación.

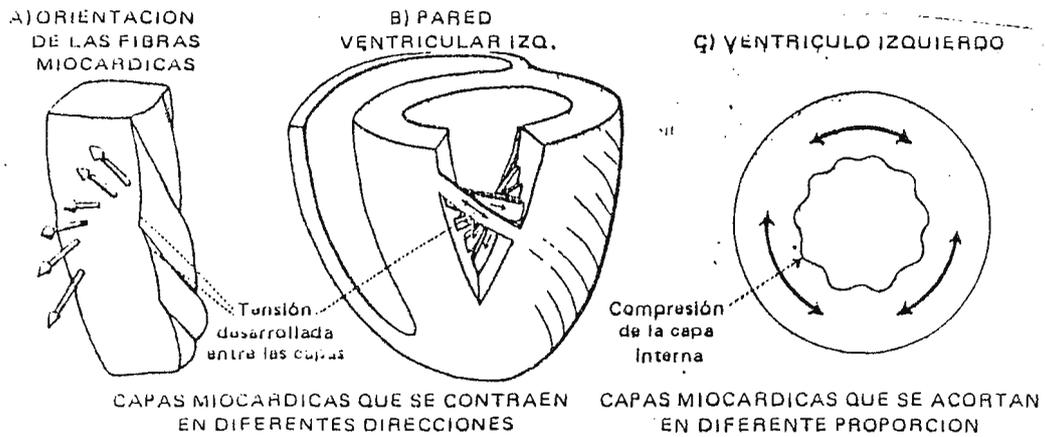


FIG. 1-10. Tensión Desarrollada entre las Capas Miocárdicas.

### 1.6.1. PRINCIPIO DE FICK

El flujo sanguíneo a lo largo de un órgano puede ser determinado si se suprime o se agrega a la sangre determinada substancia durante su paso a través de ese órgano. Aplicado a los pulmones, el principio de Fick es empleado para calcular el volumen de sangre necesaria para transportar el oxígeno absorbido en los alvéolos por unidad de tiempo.

#### 1.6.1.1. MEDICION DEL CONSUMO DE OXIGENO

El consumo de oxígeno generalmente es medido durante un período de varios minutos. La exactitud de la determinación de la toma de oxígeno por el aparato del metabolismo basal resulta generalmente inadecuada para esta finalidad. Una técnica preferida consiste en reunir en un espirómetro todo el aire espirado durante intervalos cuidadosamente medidos y analizando muestras que revelen su contenido en oxígeno. Al comparar el contenido de oxígeno del volumen total exhalado con un volumen semejante del aire ambiente proporciona los datos necesarios para calcular la absorción de oxígeno con toda exactitud.

#### 1.6.1.2. DIFERENCIA ARTERIOVENOSA DEL OXIGENO

La sangre arterial repartida en todo el cuerpo normalmente posee un contenido uniforme de oxígeno; sin embargo, para determinar una diferencia importante del oxígeno A-V, es necesario obtener muestras de sangre venosa mixta. La cantidad del oxígeno contenida en la sangre venosa depende de la red vascular de regreso. El contenido de oxígeno de una muestra de sangre obtenida por punción de la arteria pulmonar representa un valor

medio de sangre venosa que puede ser empleada para establecer la diferencia arteriovenosa de oxígeno para calcular el gasto cardíaco por medio del principio de Fick.

#### 1.6.1.2.1. MEDICION DEL CONTENIDO DE OXIGENO EN LA SANGRE

Diversas técnicas espectrofotométricas han sido satisfactoriamente empleadas para la medición del contenido del oxígeno de la sangre.

El cálculo del gasto cardíaco utilizando el principio de Fick requiere la determinación del consumo de oxígeno así como la diferencia arteriovenosa de oxígeno. Esta diferencia del oxígeno A-V se obtiene restando el contenido del oxígeno de una muestra de sangre venosa mixta del oxígeno que contiene la sangre arterial. El cálculo del gasto cardíaco está expresado por:

$$\text{Gasto Cardíaco} = \frac{\text{Consumo de } O_2}{\text{Diferencia A-V en } O_2}$$

#### 1.6.2. PRINCIPIO DE STEWART

El volumen del líquido contenido en un recipiente puede ser calculado agregando una cantidad conocida de colorante y midiendo la concentración de la sustancia después de que se ha dispersado de un modo uniforme por todo el líquido. El volumen se calcula de acuerdo con la fórmula  $V=A/C$ , en la que  $V$  es el volumen de líquido,  $A$  es la cantidad de colorante agregado, y  $C$  es la concentración del colorante en cada centímetro cúbico de líquido.

### 1.6.2.1. PRINCIPIOS GENERALES

El volumen del flujo a través de un sistema tubular puede ser teóricamente determinado con gran precisión determinando la concentración media de una cantidad conocida de colorante y conociendo el tiempo durante la toma de la muestra de acuerdo con la fórmula  $F=A/Ct$ , en que F es el flujo, A es la cantidad de colorante inyectado, C es la concentración media del colorante en la muestra y t es la duración de la toma de la muestra. La concentración media de la sustancia indicadora puede ser medida por los siguientes medios: 1) reuniendo muestras múltiples en rápida sucesión; 2) registrando continuamente la conductividad de la sangre después de inyecciones salinas, o 3) después de hacer registros oximétricos y distensitométricos cuando son inyectados los colorantes. La concentración de los indicadores que fluyen por el punto de registro llegan a su apogeo, comienzan a descender y después aumentan de nuevo debido a la recirculación. Si el colorante que ha circulado una vez puede ser separado del colorante que ha vuelto a circular, el gasto cardíaco puede ser calculado con gran exactitud.

Los requisitos fundamentales de este método son: 1) inyección de una sustancia que pueda ser exactamente analizada y que no abandone la sangre durante la prueba, y 2) tener una muestra de la sangre arterial que indica la concentración media del material de la sustancia durante su primera circulación a través del árbol arterial.

### 1.6.3. METODO DEL CONTORNO DE LA PRESION DEL PULSO

Relación de la Presión del Pulso con el Volumen por Latido. El producto de la presión del pulso por la velocidad del corazón indican el gasto cardíaco con las siguientes reservas: Para ser capaces de obtener el conocimiento de una velocidad absoluta de la sangre a partir del conocimiento de la presión del pulso y de la frecuencia del pulso es necesario conocer:

(1). La magnitud del gasto sistólico. Porque si un volumen determinado de sangre puede ser introducido a la aorta con diferentes magnitudes de presión, la presión máxima sería mas elevada cuando esta magnitud fuera mas rápida que cuando fuera mas lenta.

(2). La velocidad del torrente circulatorio o flujo de la sangre de las arterias a las venas. Porque este flujo continua durante la sistole cardíaca y por consecuencia las variaciones de este flujo harán variar la altura a la que la fuerza del corazón elevaría la presión sistólica.

(3). La capacidad de distensión de las arterias del hombre a diferentes presiones. La capacidad de distensión disminuye a medida que la presión aumenta; por consecuencia, a una presión mas elevada se necesitaría de un gasto sistólico mas pequeño para producir una presión del pulso de determinada magnitud que a una presión mas baja.

(4). La cantidad de sangre de las arterias generales en diversas condiciones. La caída de la presión durante la diástole depende de la cantidad relativa de sangre que se escapa hacia las venas, y no de la cantidad absoluta.

La predicción del volumen por latido a juzgar por la presión del pulso debe depender de la valoración de la capacidad de distensión arterial, el conocimiento de la presión del pulso en el árbol arterial y sus diversas partes, y el cálculo del escurrimiento arteriolar.

### 1.7. PATOLOGIAS RELACIONADAS CON EL SISTEMA CIRCULATORIO QUE REQUIEREN USO DE MAQUINA CORAZON-PULMON.

La máquina corazón-pulmón es ampliamente utilizada en intervenciones quirúrgicas de diversas patologías relacionadas con el corazón y los vasos que de él salen. En el hospital Médico Quirúrgico, actualmente, se realizan dos intervenciones semanales utilizando ésta máquina para tratar algunas de estas patologías en adultos únicamente.

En general, existen dos tipos de cirugía al corazón:

- a) **Corazón Abierto:** cuando la operación requiere abrir el músculo cardíaco.
- b) **Corazón Cerrado:** cuando la intervención es realizada en los tejidos cardíacos aledaños al corazón que no requieren la apertura de éste.

#### 1.7.1. PATOLOGIAS ADQUIRIDAS

(a) Valvulopatías: son todas aquellas anomalías que se presentan en las válvulas del corazón. Estas patologías son tratadas mediante el cambio de la válvula en mal estado por otra, ya sea ésta mecánica o biológica.

(b) Insuficiencia Coronaria: esta se refiere a la obstrucción de las venas y arterias que irrigan al músculo cardíaco. El tratamiento a esta patología se realiza mediante cirugía de corazón abierto para ejecutar una desviación en la arteria obstruida (revascularización coronaria).

(c) Eliminación de Tumores (Mixomas): se realiza operación de corazón abierto debido a que generalmente los mixomas aparecen en las paredes interiores de las cámaras aórticas.

(d) Enfermedad de Takayaso: Consiste en la degradación de la aorta.

#### 1.7.2. PATOLOGIAS CONGENITAS

(a) Tetralogía de Fallot: es una cardiopatía congénita con cianosis debida a la reducción del diámetro de la arteria pulmonar, dilatación y desviación de la aorta hacia la derecha (la cual suele nacer de ambos ventriculos), comunicación interventricular y gran hipertrofia del ventrículo derecho.

## CAPITULO II

### 2. MAQUINA CORAZON-PULMON

#### 2.1. INTRODUCCION

El corazón es incapaz de mantener la circulación durante la anestesia y la incisión del tórax que son necesarias para exponerlo al tratarlo quirúrgicamente o tratar a los grandes vasos que de él salen. Durante estos procedimientos quirúrgicos se observan modificaciones verdaderamente profundas en el tamaño y las funciones ventriculares debido a lo cual la perfusión de sangre a los tejidos es mantenida por una bomba de perfusión extracorpórea o también llamada máquina corazón-pulmón (ver FIGURA 2-1).

Esta máquina también oxigena a la sangre debido a que los pulmones no son capaces de realizar su función de intercambio gaseoso. Los pulmones normalmente operan gracias a un vacío parcial dentro de la cavidad torácica creado por el movimiento del diafragma el cual incrementa el volumen de la cavidad. La presión dentro del pulmón es esencialmente la presión atmosférica, y la presión en el espacio intrapleurales fuera del pulmón es ligeramente menor que la presión atmosférica. Este diferencial de presión es suficiente para producir la expansión de los pulmones para ser llenados con aire. Pero durante ciertos procedimientos quirúrgicos, el pecho está abierto y no existe tal diferencia de presión.

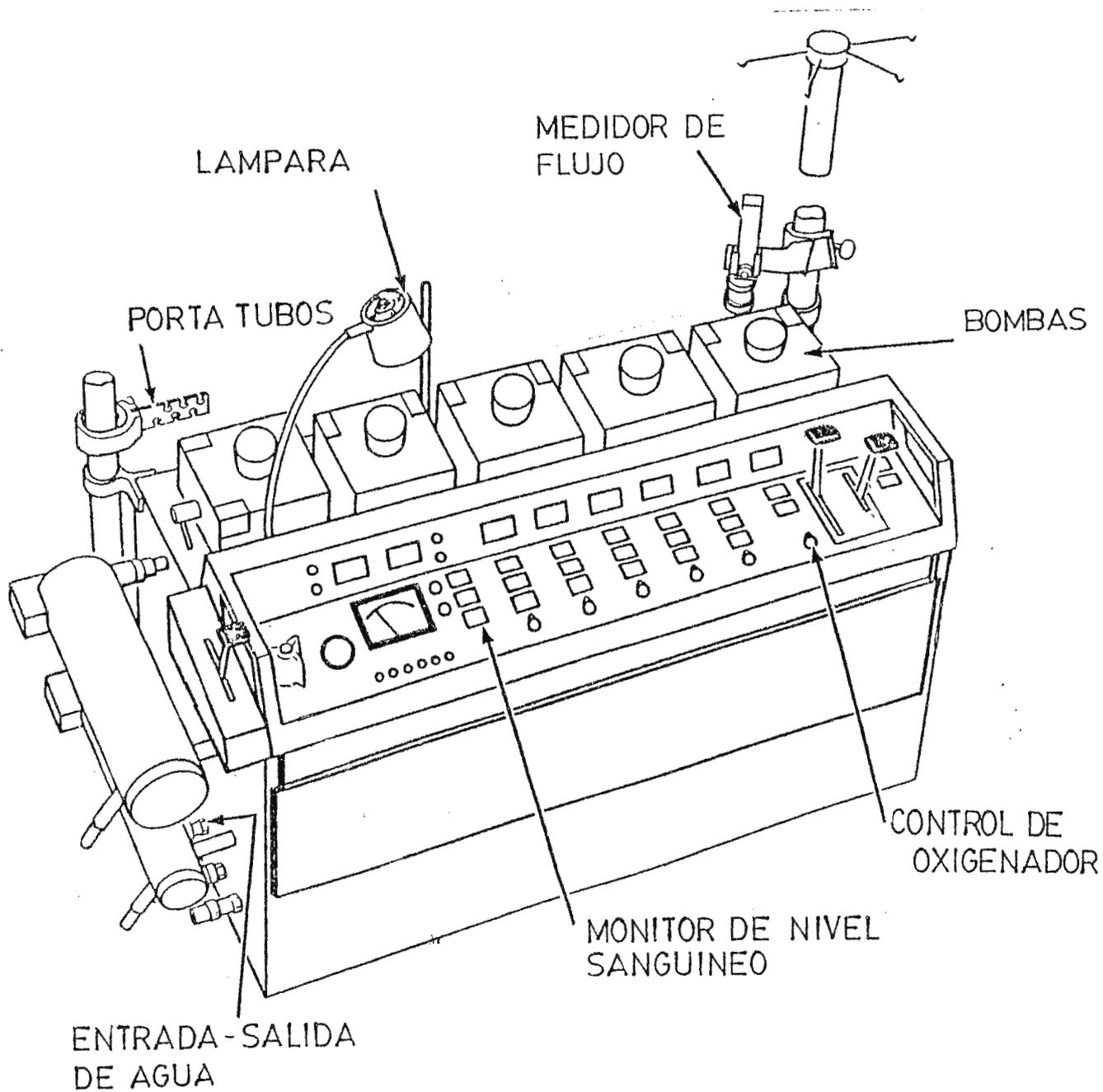


FIG.2-1 VISTA GENERAL DEL EQUIPO

Las bombas de circulación extracorpórea están constituidas por las llamadas bombas peristálticas, las cuales proporcionan el flujo de sangre desde y hacia el corazón pasando a través de la máquina corazón-pulmón. La sangre es llevada desde y hasta el paciente por medio de tubería plástica estéril llamada cánula. Estas cánulas se insertan en los vasos para tomar la sangre y llevarla al paciente. La acción de la bomba ocurre gracias a los rodos del brazo giratorio que comprimen los tubos que traen la sangre forzando el flujo hacia adelante. La acción peristáltica produce un flujo pulsátil de sangre a través del tubo.

Generalmente las bombas de perfusión extracorpórea constan de cinco bombas peristálticas: una para perfusión del cuerpo, dos succionadoras, y dos para perfusión de las arterias coronarias.

El sistema de perfusión principal incluye una bomba peristáltica y una combinación de intercambiador de calor/oxigenador. La combinación de estos dos últimos elementos dependerá del equipo a ser tratado, pues en algunos modelos ambas unidades están separadas.

El intercambiador de calor consiste de un serpentín de agua aislado de la sangre, pero térmicamente acoplado a esta. Un controlador de temperatura permite al operador mantener la sangre a una temperatura adecuada y compensar las pérdidas de calor en el circuito establecido.

La entrada del ensamble oxigenador/intercambiador de calor es llamada lado O<sub>2</sub>-negativo, mientras que la salida es llamada lado O<sub>2</sub>-positivo.

La sangre se toma de la vena cava del paciente. Una cánula es insertada en la vena cava superior y otra en la vena cava inferior. Estas dos líneas se conectan a través de un adaptador Y. La sangre fluye desde la vena cava a través del tubo hasta llegar al lado O<sub>2</sub>-negativo. Otro tubo es el encargado de llevar la sangre desde el lado O<sub>2</sub>-positivo a la bomba peristáltica, para llevarla nuevamente al paciente a través de una cánula en la arteria femoral.

Dos de las bombas peristálticas son usadas como succionadores. Una realiza una función de salida para ser ejecutada en el corazón, mientras la otra representa un verdadero mecanismo de succión. El cirujano puede utilizar la punta succionadora para recoger la sangre que se estanca durante la cirugía, esta sangre generalmente se pierde a menos que se autotransfunda nuevamente al paciente. La sangre recogida por los succionadores es llevada a un tanque de reserva, y luego es transferida al ensamble oxigenador/ intercambiador en el lado O<sub>2</sub>-negativo.

El propósito de las bombas restantes es la de perfundir a las arterias coronarias. Una parte de la tubería es llevada desde el lado O<sub>2</sub>-positivo del oxigenador a través de la bomba peristáltica a las cánulas conectadas en las arterias coronarias (ver FIGURA 2-2).

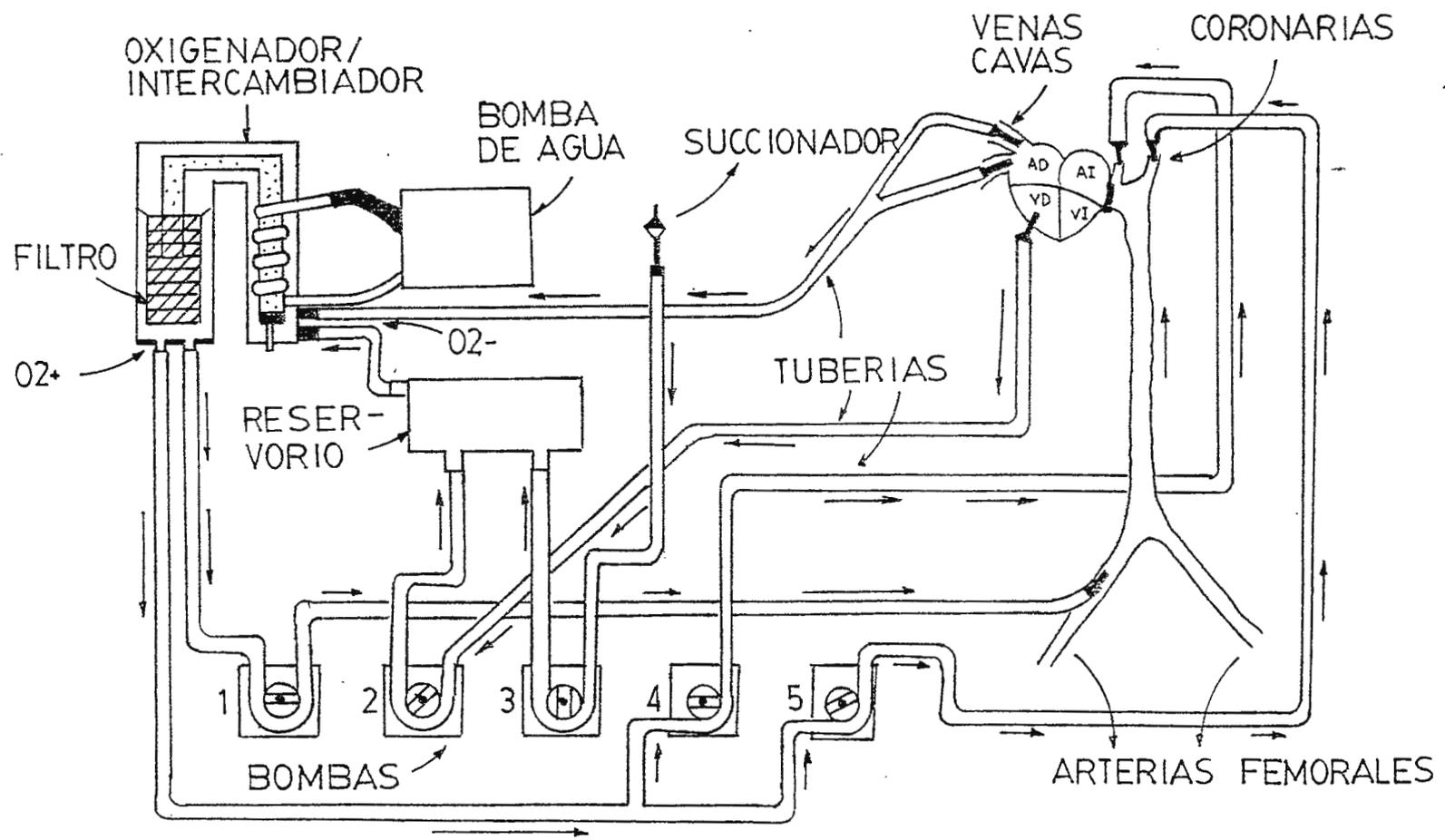


FIG.22 CIRCUITO DEL PACIENTE

## 2.2. TEORIA Y FUNCIONAMIENTO

Una bomba de perfusión esta diseñada para hacer circular un flujo de sangre a través de un tubo flexible sin hacer contacto directo con esta. El fluido es desplazado por un rodo que colapsa el tubo y empuja el fluido hacia adelante. En las bombas de perfusión se encuentran dos rodos dispuestos a 180° los cuales bombean el fluido cada media revolución. El rodo alternativo presiona ligeramente al tubo antes que el rodo opuesto complete su golpe, deteniendo momentáneamente el flujo y dándole una ligera característica pulsátil.

### 2.2.1. AJUSTE DE LA OCLUSION DEL TUBO

El método generalmente aceptado para ajustar la oclusión es el monitoreo de la caída de una columna vertical de agua de 36 pulgadas de alto. Cuando los rodos están ajustados casi a una oclusión total, la caída de una pulgada por minuto de agua se considera el punto de oclusión óptima (ver FIGURA 2-3). Es importante que el diseño de la bomba proporcione un preciso ajuste de la oclusión para minimizar la hemólisis. Las tolerancias dimensionales son mantenidas dentro de un margen de seguridad estrechamente controlado.

### 2.2.2. VOLUMEN DEL GOLPE

Esta definido como la cantidad de fluido bombeado durante una sola revolución. Un volumen del golpe constante es producido teóricamente para un diámetro de tubo dado, colocado en una bomba de diámetro conocido, con la oclusión ajustada por un método aceptable.

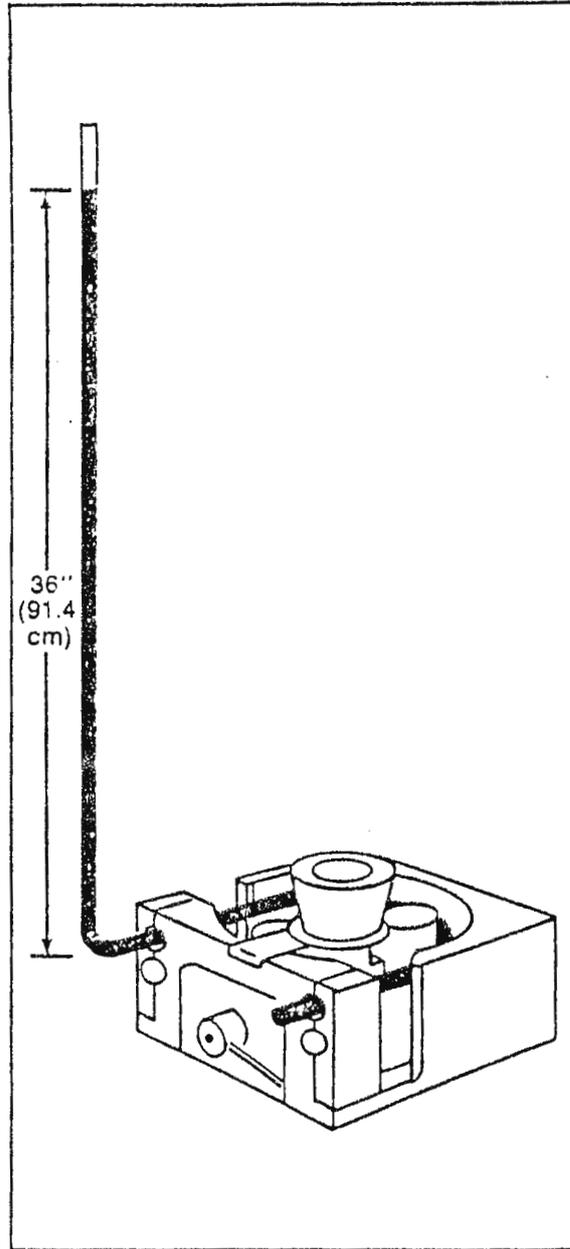


FIG.2-3 AJUSTE DE OCLUSION

Otros factores que afectan el volumen del golpe son:

- (a) La memoria de elasticidad del tubo flexible.
- (b) Reducciones o incrementos en los diámetros internos de una línea o un segmento.
- (c) La presencia de una trampa para burbujas, intercambiador de calor o filtro.

### 2.3. CABEZAL DE LA BOMBA

Este cabezal posee una perilla de ajuste para determinar la oclusión que no requiere la utilización de tuercas o herramientas. La instalación de la tubería está simplificada por una abrazadera de acción de levas (ver FIGURA 2-4).

#### 2.3.1. INSTALACION DE LA TUBERIA

Se gira la perilla de ajuste en contra de las agujas de reloj hasta que el espacio entre los rodos y el cuerpo de la bomba sea suficientemente amplio para la introducción del tubo. Se gira la manija de cierre hacia la izquierda y se inserta el tubo asegurándose que quede entre las guías. Se ajusta la tubería de manera que quede un pequeño espacio entre este y el cuerpo de la bomba, luego se centra el tubo en las abrazaderas y se gira la manecilla de cierre hacia la derecha.

#### 2.3.2. CAMBIO DE INSERTOS

Para cambiar insertos se gira la manecilla de cierre hacia la izquierda, y se quita el tornillo del bloque de la abrazadera, lo cual permite deslizarlo del cuerpo de la bomba (ver FIGURA 2-5).

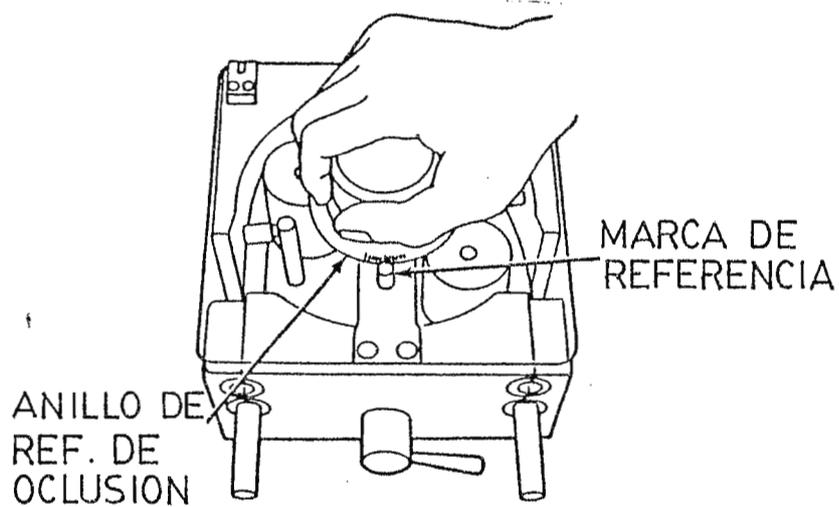
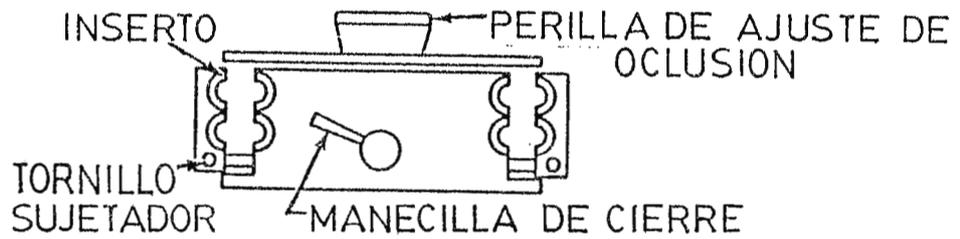
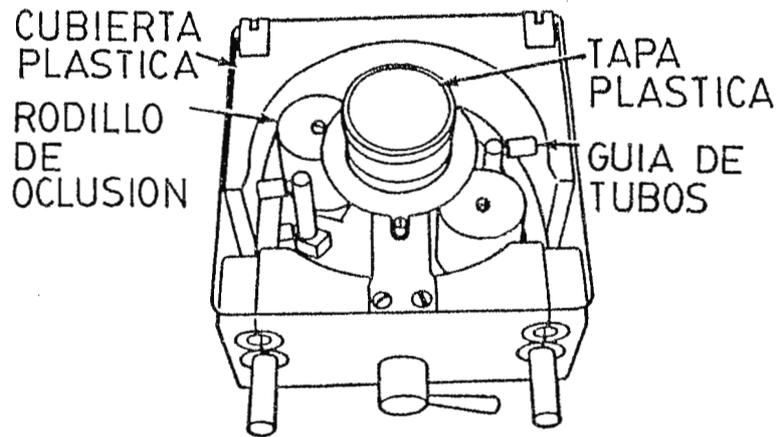


FIG.24 DETALLES DEL CABEZAL Y AJUSTE DE RODILLOS

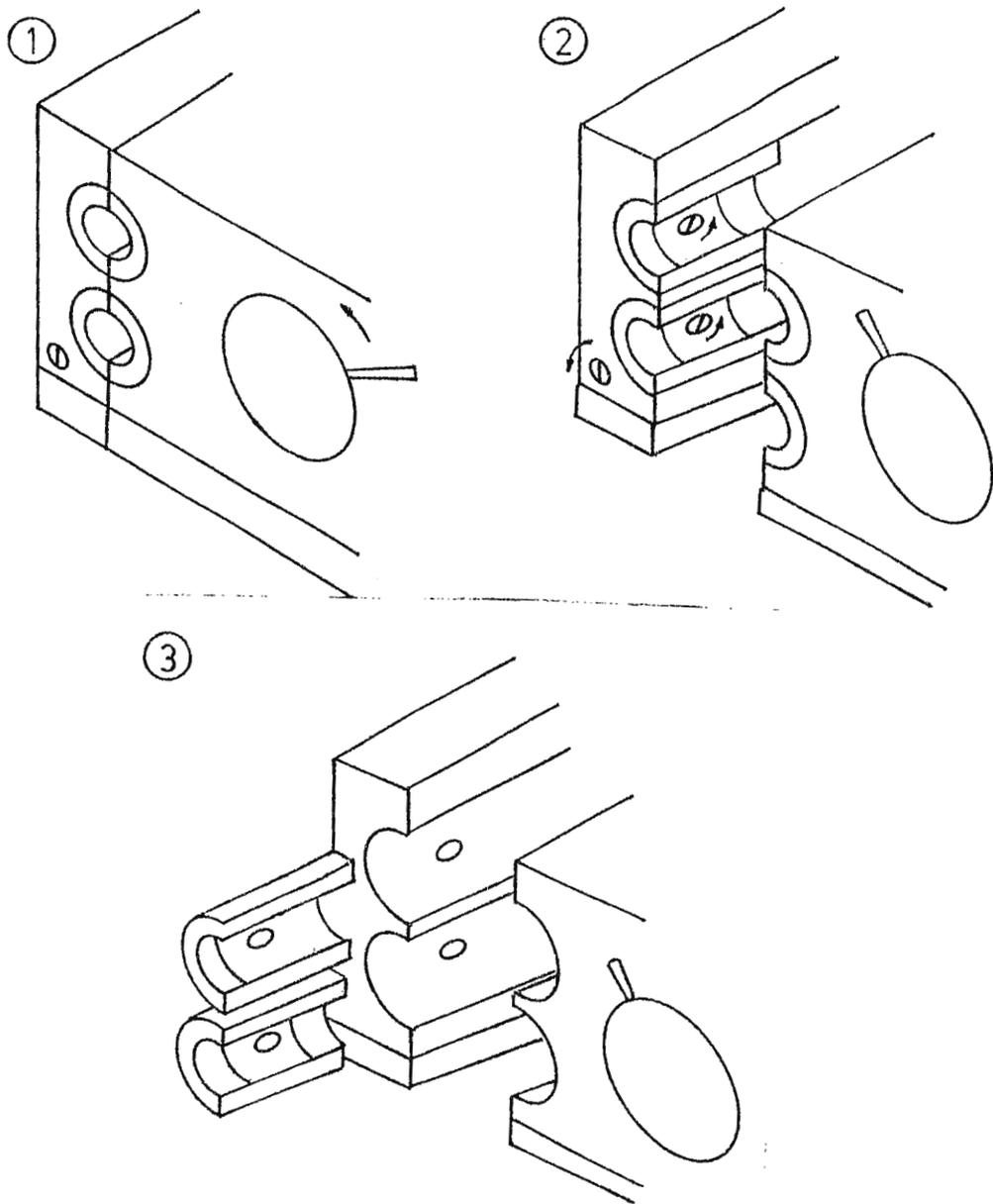


FIG.2-5 CAMBIO DE INSERTOS

### 2.3.3. AJUSTES DE OCLUSION

Para ajustar la oclusión de los rodos hay que girar la perilla de ajuste en la dirección indicada hasta que el tubo sea firmemente presionado contra el cuerpo de la bomba. Luego se rota la bomba hasta que se forme una columna de 24 a 36 pulgadas de agua; se liberan los rodos permitiendo que el agua fluya. Mientras el agua esta fluyendo se aprietan los rodos hasta que el porcentaje de flujo sea aproximadamente una pulgada por minuto. Este es aproximadamente el punto de oclusión óptima.

Una vez que la oclusión ha sido ajustada adecuadamente, el anillo de referencia de oclusión puede ser ajustado. Para ello, se liberan los cuatro tornillos que sostienen al anillo y se gira sin mover la perilla de ajuste de oclusión, alineándolo con el pin de referencia. El uso del anillo de referencia de oclusión permite al operador variar la oclusión durante el funcionamiento de la bomba si se vuelve necesario.

## 2.4. CONTROLES DE LA BOMBA

### 2.4.1. FUNCIONES.

Los controles de la bomba son los interruptores de adelanto (forward), parado (stop), retroceso (reverse) y la perilla de control de velocidad. Estos controles son usados para regular la operación de las bombas. También se cuenta con un tacómetro digital que muestra la velocidad de la bomba por medio de lo cual se calcula la razón de flujo de sangre y fluidos.

#### 2.4.2. DESCRIPCION

Los controles de la bomba están localizados en la porción central del panel de control. Los mostradores digitales de RPM para cada bomba están localizados directamente sobre cada juego de controles de la bomba.

Los controles de la bomba están colocados en la misma secuencia que las bombas y están numeradas del 1 al 5 dependiendo del número de bomba instalada.

Los interruptores de las bombas están codificados por colores y se encienden cuando están activados. Los interruptores de adelanto son verdes, de paro son rojos y los de retroceso son ámbar.

#### 2.4.3. OPERACION

Las funciones de la bomba de adelanto, reversa y parado son activados mediante la presión de los interruptores. El control de la velocidad es ajustada por medio de la perilla de control de velocidad. Los interruptores de la bomba pueden ser activados a cualquier velocidad, pero el interruptor de parado debe ser activado antes de activar la reversa.

#### 2.5. CALIBRACION DE LA BOMBA

La oclusión de los rodos debe ser ajustada tal como se mencionó anteriormente. El volumen de golpe principal es útil en el proceso de calibración. Usado en conjunto con los tacómetros digitales, el volumen de golpe aumenta la precisión de los

cálculos de flujo.

Para calibrar la bomba, se debe conectar la cánula a la tubería en la salida de la bomba. Se inserta el lado de entrada de la tubería dentro del reservorio localizado en aproximadamente el mismo nivel de la fuente. Hay que recircular el fluido mientras se ajusta la velocidad a un valor deseado.

Luego se bombea el fluido dentro de un depósito graduado durante un cierto intervalo de tiempo. Entre más grande sea el intervalo mayor será la precisión. Para la calibración del equipo no se utiliza un valor constante de tiempo para la determinación del flujo, sino por el contrario, se realizan mediciones de volumen a diferentes intervalos de tiempo (1 min, 30, 15, 10 y 5 seg) de acuerdo a la cantidad de volumen desplazado.

Todo este procedimiento deberá repetirse a lo largo del rango de velocidad de las bombas (se utiliza generalmente un intervalo de cinco RPM). El volumen de golpe puede ser determinado para cualquier punto dividiendo la salida por minuto entre las revoluciones por minuto de la bomba. Este valor puede ser promediado a lo largo del rango de velocidad y puede ser usado como una constante para encontrar el flujo de cualquier velocidad no calibrada.

El proceso de calibración antes descrito requiere de un proceso largo, tedioso y lleno de error humano debido a la gran participación del operario para completar la tabla sugerida por el fabricante (ver TABLA 2-1).

## CALIBRACION. BOMBA No. 1

DIAMETRO DEL TUBO	DIAMETRO DE CANULA	TASA DE FLUJO EN mL A LAS RPM INDICADAS			

TABLA 2-1. Tabla de Calibración Sugerida por el Fabricante

## 2.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL MODULO AUXILIAR

La fabricación del modulo auxiliar propuesto permitirá que la única calibración a realizar sea la oclusión de los rodos anteriormente descrita, lo cual disminuirá considerablemente, tanto el tiempo total de calibración, como el error humano al eliminar en gran medida la participación del operario en la determinación del flujo circulante a una determinada velocidad de las bombas.

El modulo auxiliar presentará directamente el flujo proporcional a la velocidad de rotación de las bombas para los diámetros de mangueras más utilizados, para ello, se tomará la señal de salida del transductor interno de las bombas y se procesará hasta obtener la salida adecuada (flujo sanguíneo en ml/min), la cual será presentada de forma digital en un display de siete segmentos.

Es de hacer notar que este modulo auxiliar no alterará el funcionamiento normal de la máquina de circulación extracorpórea pues la señal a ser tratada, será sometida a un circuito de alta impedancia para no modificar sus características electrónicas. Además, la señal de salida actual de la máquina (display de RPM) será siempre mostrada.

Este módulo auxiliar tiene la limitación de no presentar el flujo de todas las bombas simultáneamente, sino que se presentará el flujo de una bomba por vez, pudiendo seleccionar la bomba de interés. También se limita la precisión del flujo de salida presentado debido a la dependencia respecto a la señal tomada internamente de las bombas, de la selección de los dispositivos

electrónicos a utilizar y de la calibración de la oclusión de las mangueras.

## 2.7. DIAGRAMA DE BLOQUES PRELIMINAR

En la FIGURA 2.6 se presenta un diagrama a bloques tentativo de los componentes básicos del sistema auxiliar a implementar.

Sistema de Perfusión: no es más que el sistema a ser tratado. De éste sistema serán tomadas las señales electrónicas de los tacómetros de cada una de las bombas peristálticas para ser procesadas en las siguientes etapas.

Multiplexado: en esta etapa se tomarán las medidas de los cinco tacómetros de cada una de las bombas, uno a la vez, para introducirlas a un solo bloque de tratamiento de señal.

Selección: esta etapa actúa directamente sobre la etapa de multiplexado, siendo la encargada de escoger la bomba peristáltica para ser tratada en la etapa siguiente.

Tratamiento de Señal: es la parte del sistema que modifica a la señal proveniente de la etapa de multiplexado. En esta etapa se realizarán todos los procedimientos necesarios para transformar la señal adquirida de los tacómetros en un dato que sea representativo de la información que se desea tener disponible para la etapa posterior.

Presentación: este bloque convierte la señal proveniente del bloque anterior en algo que pueda ser percibido. Para esto se utilizara un juego de displays de siete segmentos que mostrará la información requerida (flujo en ml/min).

DIAGRAMA DE BLOQUES PRELIMINAR

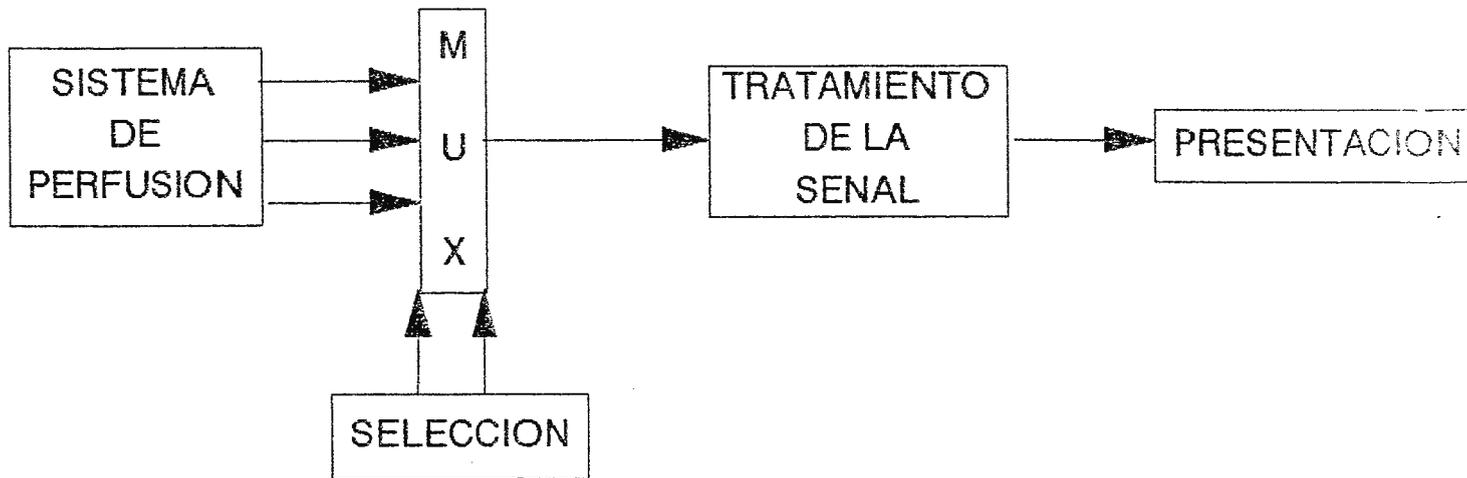


FIG. 2-6

## 2.8. ANALISIS DE LA INFORMACION

### 2.8.1. TABLAS DE VELOCIDAD x FLUJO

Para la realización de un circuito capaz de transformar las revoluciones por minuto (salida actual de la máquina) a una medida del flujo (mL/min), es necesario realizar una calibración de cada una de las bombas para obtener una serie de puntos que relacionen ambas variables. A continuación se presentan las tablas obtenidas en una calibración real de la máquina (ver TABLAS 2-2 a 2-12), las cuales serán analizadas para determinar la tendencia que relaciona dichas variables.

### 2.8.2. REGRESION LINEAL

El objetivo de este análisis es el de establecer una relación funcional entre dos variables relacionadas tomando datos muestrales que constituyen estimadores de la correspondiente relación. Una vez establecida cuantitativamente esta relación, es posible estimar el valor de una de las variables en función de la otra. La variable cuyo valor será estimado se denomina variable dependiente y se representa en el eje Y, mientras que la variable conocida o variable de entrada se conoce como variable independiente y esta representada en el eje X. Para el caso particular estudiado, la variable dependiente será el flujo (F) en mL/min, y la variable independiente será la velocidad (V) en RPM.

**BOMBA # 1**  
**MANGUERA 1/4" × 1/16"**  
**OCLUSION 8/10**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-60,42	0,00	0,00
10	140	81,95	14,00	130,50
20	255	224,31	12,75	261,00
30	360	366,68	12,00	391,50
40	480	509,05	12,00	522,00
50	630	651,42	12,60	652,50
60	780	793,78	13,00	783,00
70	920	936,15	13,14	913,50
80	995	1078,52	12,44	1044,00
90	1110	1220,88	12,33	1174,50
100	1300	1363,25	13,00	1305,00
110	1460	1505,62	13,27	1435,50
120	1620	1647,98	13,50	1566,00
130	1810	1790,35	13,92	1696,50
140	1940	1932,72	13,86	1827,00
150	2025	2075,09	13,50	1957,50
160	2200	2217,45	13,75	2088,00
170	2370	2359,82	13,94	2218,50
180	2580	2502,19	14,33	2349,00
190	2720	2644,55	14,32	2479,50
200	2900	2786,92	14,50	2610,00
210	3120	2929,29	14,86	2740,50
220	3210	3071,65	14,59	2871,00
230	3295	3214,02	14,33	3001,50
240	3340	3356,39	13,92	3132,00
250	3400	3498,76	13,60	3262,50
260	3560	3641,12	13,69	3393,00
270	3740	3783,49	13,85	3523,50
285	3860	3997,04	13,54	3719,25

Promedio Vg = 13.05

**Tabla 2.2**

BOMBA # 1  
MANGUERA 3/8" x 1/16"  
OCLUSION 8/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-86,68	0	0,00
5	140	55,02	28	134,15
10	250	196,73	25	268,30
15	390	338,43	26	402,45
20	510	480,13	26	536,60
25	650	621,84	26	670,75
30	780	763,54	26	804,90
35	940	905,25	27	939,05
40	1075	1046,95	27	1073,20
45	1140	1188,65	25	1207,35
50	1350	1330,36	27	1341,50
55	1410	1472,06	26	1475,65
60	1570	1613,77	26	1609,80
65	1700	1755,47	26	1743,95
70	1820	1897,17	26	1878,10
75	2000	2038,88	27	2012,25
80	2150	2180,58	27	2146,40
85	2275	2322,29	27	2280,55
90	2420	2463,99	27	2414,70
95	2525	2605,69	27	2548,85
100	2680	2747,40	27	2683,00
105	2810	2889,10	27	2817,15
110	3050	3030,81	28	2951,30
115	3180	3172,51	28	3085,45
120	3290	3314,21	27	3219,60
125	3410	3455,92	27	3353,75
130	3600	3597,62	28	3487,90
135	3760	3739,33	28	3622,05
140	3900	3881,03	28	3756,20

Tabla 2.3

**BOMBA # 1**  
**MANGUERA 3/8" x 1/16"**  
**OCLUSION 8/10**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
145	4010	4022,73	28	3890,35
150	4190	4164,44	28	4024,50
155	4295	4306,14	28	4158,65
160	4420	4447,85	28	4292,80
165	4600	4589,55	28	4426,95
170	4780	4731,25	28	4561,10
175	4900	4872,96	28	4695,25
180	5080	5014,66	28	4829,40
185	5200	5156,37	28	4963,55
190	5310	5298,07	28	5097,70
195	5440	5439,77	28	5231,85
200	5520	5581,48	28	5366,00
205	5630	5723,18	27	5500,15
210	5800	5864,89	28	5634,30
215	6010	6006,59	28	5768,45
220	6200	6148,29	28	5902,60
225	6400	6290,00	28	6036,75
230	6520	6431,70	28	6170,90
235	6680	6573,41	28	6305,05
240	6790	6715,11	28	6439,20
245	6840	6856,81	28	6573,35
250	7000	6998,52	28	6707,50
255	7120	7140,22	28	6841,65
260	7290	7281,93	28	6975,80
265	7450	7423,63	28	7109,95
270	7520	7565,33	28	7244,10
275	7600	7707,04	28	7378,25

Promedio Vg = 24.97

**Tabla 2.3**

**BOMBA # 1**  
**MANGUERA 3/8" x 1/8"**  
**OCLUSION 1/8**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
145	4010	4022,73	27,66	3890,35
150	4190	4164,44	27,93	4024,50
155	4295	4306,14	27,71	4158,65
160	4420	4447,85	27,63	4292,80
165	4600	4589,55	27,88	4426,95
170	4780	4731,25	28,12	4561,10
175	4900	4872,96	28,00	4695,25
180	5080	5014,66	28,22	4829,40
185	5200	5156,37	28,11	4963,55
190	5310	5298,07	27,95	5097,70
195	5440	5439,77	27,90	5231,85
200	5520	5581,48	27,60	5366,00
205	5630	5723,18	27,46	5500,15
210	5800	5864,89	27,62	5634,30
215	6010	6006,59	27,95	5768,45
220	6200	6148,29	28,18	5902,60
225	6400	6290,00	28,44	6036,75
230	6520	6431,70	28,35	6170,90
235	6680	6573,41	28,43	6305,05
240	6790	6715,11	28,29	6439,20
245	6840	6856,81	27,92	6573,35
250	7000	6998,52	28,00	6707,50
255	7120	7140,22	27,92	6841,65
260	7290	7281,93	28,04	6975,80
265	7450	7423,63	28,11	7109,95
270	7520	7565,33	27,85	7244,10
275	7600	7707,04	27,64	7378,25

Promedio Vg = 26.83

**Tabla 2.4**

**BOMBA # 1**  
**MANGUERA 3/8" x 1/8"**  
**OCLUSION 1/8**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-86,68	0,00	0,00
5	140	55,02	28,00	134,15
10	250	196,73	25,00	268,30
15	390	338,43	26,00	402,45
20	510	480,13	25,50	536,60
25	650	621,84	26,00	670,75
30	780	763,54	26,00	804,90
35	940	905,25	26,86	939,05
40	1075	1046,95	26,88	1073,20
45	1140	1188,65	25,33	1207,35
50	1350	1330,36	27,00	1341,50
55	1410	1472,06	25,64	1475,65
60	1570	1613,77	26,17	1609,80
65	1700	1755,47	26,15	1743,95
70	1820	1897,17	26,00	1878,10
75	2000	2038,88	26,67	2012,25
80	2150	2180,58	26,88	2146,40
85	2275	2322,29	26,76	2280,55
90	2420	2463,99	26,89	2414,70
95	2525	2605,69	26,58	2548,85
100	2680	2747,40	26,80	2683,00
105	2810	2889,10	26,76	2817,15
110	3050	3030,81	27,73	2951,30
115	3180	3172,51	27,65	3085,45
120	3290	3314,21	27,42	3219,60
125	3410	3455,92	27,28	3353,75
130	3600	3597,62	27,69	3487,90
135	3760	3739,33	27,85	3622,05
140	3900	3881,03	27,86	3756,20

**Tabla 2.4**

BOMBA # 2  
 MANGUERA 1/4" x 1/16"  
 OCLUSION 3/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-6,49	0,00	0,00
5	70	57,59	14,00	57,10
10	120	121,66	12,00	114,20
15	180	185,74	12,00	171,30
20	250	249,82	12,50	228,40
25	300	313,89	12,00	285,50
30	370	377,97	12,33	342,60
35	440	442,04	12,57	399,70
40	500	506,12	12,50	456,80
45	560	570,20	12,44	513,90
49	650	621,46	13,27	559,58

Promedio Vg = 11.42

Tabla 2.5

BOMBA # 3  
MANGUERA 1/4" x 1/16"  
OCLUSION 1/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	16,44	0,00	0,00
5	70	76,71	14,00	59,03
10	130	136,99	13,00	118,07
15	190	197,26	12,67	177,10
20	290	257,53	14,50	236,13
25	340	317,81	13,60	295,16
30	380	378,08	12,67	354,20
35	440	438,36	12,57	413,23
40	500	498,63	12,50	472,26
45	560	558,90	12,44	531,30
52	620	643,29	11,92	613,94

Promedio Vg = 11.81

Tabla 2.6

BOMBA # 4  
MANGUERA 1/4" x 1/16"  
OCCLUSION 1/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-27,52	0,00	0,00
10	120	104,60	12,00	124,70
20	250	236,73	12,50	249,40
30	400	368,85	13,33	374,10
40	520	500,98	13,00	498,80
50	640	633,10	12,80	623,50
60	760	765,22	12,67	748,20
70	900	897,35	12,86	872,90
80	1040	1029,47	13,00	997,60
90	1120	1161,60	12,44	1122,30
100	1260	1293,72	12,60	1247,00
110	1400	1425,84	12,73	1371,70
120	1600	1557,97	13,33	1496,40
130	1690	1690,09	13,00	1621,10
140	1800	1822,22	12,86	1745,80
150	1910	1954,34	12,73	1870,50
160	2010	2086,46	12,56	1995,20
170	2120	2218,59	12,47	2119,90
180	2360	2350,71	13,11	2244,60
190	2580	2482,84	13,58	2369,30
200	2620	2614,96	13,10	2494,00
210	2800	2747,08	13,33	2618,70
220	2840	2879,21	12,91	2743,40
230	3040	3011,33	13,22	2868,10
240	3100	3143,46	12,92	2992,80
250	3250	3275,58	13,00	3117,50
260	3440	3407,71	13,23	3242,20
270	3500	3539,83	12,96	3366,90
288	3880	3777,65	13,47	3591,36

Promedio Vg = 12.47

Tabla 2.7

**BOMBA # 4**  
**MANGUERA 3/8" x 1/16"**  
**OCLUSION 9/10**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	79,03	0,00	0,00
10	290	361,30	29,00	278,70
20	570	643,57	28,50	557,40
30	790	925,84	26,33	836,10
40	1180	1208,11	29,50	1114,80
50	1400	1490,38	28,00	1393,50
60	1790	1772,65	29,83	1672,20
70	1920	2054,92	27,43	1950,90
80	2300	2337,19	28,75	2229,60
90	2680	2619,46	29,78	2508,30
100	2810	2901,73	28,10	2787,00
110	3110	3184,00	28,27	3065,70
120	3560	3466,27	29,67	3344,40
130	3680	3748,54	28,31	3623,10
140	4710	4030,81	33,64	3901,80
150	4780	4313,08	31,87	4180,50
160	4840	4595,35	30,25	4459,20
170	5020	4877,62	29,53	4737,90
180	5160	5159,89	28,67	5016,60
190	5340	5442,16	28,11	5295,30
200	5420	5724,43	27,10	5574,00
210	5500	6006,70	26,19	5852,70
220	6590	6288,97	29,95	6131,40
230	6740	6571,24	29,30	6410,10
240	7000	6853,51	29,17	6688,80
250	7200	7135,78	28,80	6967,50
260	7390	7418,05	28,42	7246,20
270	7580	7700,32	28,07	7524,90
280	7820	7982,59	27,93	7803,60
289	7960	8236,63	27,54	8054,43

Promedio Vg = 27.87

**Tabla 2.8**

**BOMBA # 4**  
**MANGUERA 3/8" x 1/8"**  
**OCCLUSION 1/10**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	44,82	0,00	0,00
10	330	327,44	33,00	276,40
20	560	610,06	28,00	552,80
30	780	892,67	26,00	829,20
40	1000	1175,29	25,00	1105,60
50	1380	1457,91	27,60	1382,00
60	1750	1740,52	29,17	1658,40
70	1900	2023,14	27,14	1934,80
80	2280	2305,76	28,50	2211,20
90	2670	2588,38	29,67	2487,60
100	2810	2870,99	28,10	2764,00
110	3100	3153,61	28,18	3040,40
120	3360	3436,23	28,00	3316,80
130	3600	3718,84	27,69	3593,20
140	4700	4001,46	33,57	3869,60
150	4770	4284,08	31,80	4146,00
160	4850	4566,69	30,31	4422,40
170	5020	4849,31	29,53	4698,80
180	5150	5131,93	28,61	4975,20
190	5320	5414,54	28,00	5251,60
200	5400	5697,16	27,00	5528,00
210	5490	5979,78	26,14	5804,40
220	6560	6262,39	29,82	6080,80
230	6700	6545,01	29,13	6357,20
240	6880	6827,63	28,67	6633,60
250	7140	7110,24	28,56	6910,00
260	7350	7392,86	28,27	7186,40
270	7560	7675,48	28,00	7462,80
280	7800	7958,09	27,86	7739,20
286	7960	8127,66	27,83	7905,04

Promedio Vg = 27.64  
**Tabla 2.9**

BOMBA # 5  
MANGUERA 1/4" x 1/16"  
OCCLUSION 3/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	-21,79	0,00	0,00
10	120	110,22	12,00	124,80
20	270	242,23	13,50	249,60
30	375	374,24	12,50	374,40
40	490	506,26	12,25	499,20
50	600	638,27	12,00	624,00
60	780	770,28	13,00	748,80
70	890	902,29	12,71	873,60
80	1020	1034,31	12,75	998,40
90	1150	1166,32	12,78	1123,20
100	1250	1298,33	12,50	1248,00
110	1410	1430,34	12,82	1372,80
120	1560	1562,35	13,00	1497,60
130	1730	1694,37	13,31	1622,40
140	1890	1826,38	13,43	1747,20
150	2000	1958,39	13,33	1872,00
160	2090	2090,40	13,06	1996,80
170	2190	2222,42	12,88	2121,60
180	2360	2354,43	13,11	2246,40
190	2520	2486,44	13,26	2371,20
200	2660	2618,45	13,30	2496,00
210	2760	2750,47	13,14	2620,80
220	2820	2882,48	12,82	2745,60
230	2980	3014,49	12,96	2870,40
240	3130	3146,50	13,04	2995,20
250	3240	3278,51	12,96	3120,00
260	3430	3410,53	13,19	3244,80
270	3560	3542,54	13,19	3369,60
280	3700	3674,55	13,21	3494,40

Promedio Vg = 12.48  
**Tabla 2.10**

BOMBA # 5  
 MANGUERA 3/8" x 1/16"  
 OCLUSION 9/10

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	5,86	0,00	0,00
10	320	291,75	32,00	276,20
20	590	577,64	29,50	552,40
30	760	863,52	25,33	828,60
40	1075	1149,41	26,88	1104,80
50	1400	1435,30	28,00	1381,00
60	1750	1721,18	29,17	1657,20
70	1900	2007,07	27,14	1933,40
80	2200	2292,95	27,50	2209,60
90	2640	2578,84	29,33	2485,80
100	2800	2864,73	28,00	2762,00
110	3090	3150,61	28,09	3038,20
120	3475	3436,50	28,96	3314,40
130	3650	3722,39	28,08	3590,60
140	4100	4008,27	29,29	3866,80
150	4290	4294,16	28,60	4143,00
160	4640	4580,05	29,00	4419,20
170	5330	4865,93	31,35	4695,40
180	5420	5151,82	30,11	4971,60
190	5520	5437,71	29,05	5247,80
200	5700	5723,59	28,50	5524,00
210	6100	6009,48	29,05	5800,20
220	6230	6295,37	28,32	6076,40
230	6520	6581,25	28,35	6352,60
240	6780	6867,14	28,25	6628,80
250	7090	7153,03	28,36	6905,00
260	7290	7438,91	28,04	7181,20
270	7580	7724,80	28,07	7457,40
280	8000	8010,69	28,57	7733,60

Promedio Vg = 27.62  
 Tabla 2.11

**BOMBA # 5**  
**MANGUERA 3/8" x 1/8"**  
**OCLUSION 3/10**

RPM	REAL	TEORICO	Vg	Vg*RPM
0	0	11,59	0,00	0,00
10	300	296,30	30,00	275,20
20	590	581,01	29,50	550,40
30	770	865,73	25,67	825,60
40	1100	1150,44	27,50	1100,80
50	1390	1435,16	27,80	1376,00
60	1760	1719,87	29,33	1651,20
70	1910	2004,59	27,29	1926,40
80	2200	2289,30	27,50	2201,60
90	2620	2574,01	29,11	2476,80
100	2800	2858,73	28,00	2752,00
110	3080	3143,44	28,00	3027,20
120	3450	3428,16	28,75	3302,40
130	3640	3712,87	28,00	3577,60
140	4100	3997,59	29,29	3852,80
150	4280	4282,30	28,53	4128,00
160	4620	4567,01	28,88	4403,20
170	5320	4851,73	31,29	4678,40
180	5410	5136,44	30,06	4953,60
190	5510	5421,16	29,00	5228,80
200	5690	5705,87	28,45	5504,00
210	6080	5990,58	28,95	5779,20
220	6220	6275,30	28,27	6054,40
230	6500	6560,01	28,26	6329,60
240	6760	6844,73	28,17	6604,80
250	7040	7129,44	28,16	6880,00
260	7260	7414,16	27,92	7155,20
270	7550	7698,87	27,96	7430,40
280	7980	7983,58	28,50	7705,60

Promedio Vg = 27.52  
**Tabla 2.12**

### 2.8.2.1. CALCULO DE LA ECUACION DE REGRESION

Para el cálculo de la ecuación de regresión se utiliza el método de los mínimos cuadrados por ser matemáticamente más exacto. Partiendo de la ecuación de la recta  $Y_c = a + bX$ , donde  $Y_c$  representa el valor teórico de  $Y_1$  para un valor determinado de  $X$ , el criterio de los mínimos cuadrados requiere la determinación de las constantes  $a$  y  $b$  tal que  $\Sigma(Y_1 - Y_c)^2$  sea un mínimo, esto es, que tienda a cero; sustituyendo en esta condición el valor de  $Y_c$  previamente establecido se obtiene:  $\Sigma(Y_1 - a - bX)^2$ . Para satisfacer la condición de minimizar las desviaciones de los valores reales de  $Y_1$  con respecto a la línea teórica, basta con derivar con respecto a  $a$  y  $b$  e igualar a cero las derivadas. Al resolver las ecuaciones resultantes se obtendrán los valores de  $a$  y  $b$  que minimizan dichas desviaciones.

Sea:

$$Z = \Sigma (Y_1 - a - bX)^2$$

Derivando respecto a  $a$ :

$$\frac{\partial Z}{\partial a} = 2 \Sigma (Y_1 - a - bX) (-1) = 0$$

$$\Sigma Y_1 = na + b \Sigma X \quad Ec(1)$$

Derivando respecto a  $b$ :

$$\frac{\partial Z}{\partial b} = 2 \Sigma (Y_1 - a - bX) (-X) = 0$$

$$\sum XY_i = a \sum X + b \sum X^2 \quad \text{Ec(2)}$$

Simultaneando Ecs(1) y (2):

$$a = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

donde:      n=casos observados.  
               X=veloc. (RPM)  
               Y=flujo (mL/min)

Con los valores calculados de las constantes a y b se obtiene la ecuación de la línea recta más representativa para el rango de valores estudiados.

#### 2.8.2.2. DESVIACION ESTANDAR DE REGRESION

La desviación estándar de regresión es la desviación típica de los valores de  $Y_i$  con respecto a  $Y_e$ , dados por la formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY}{n}}$$

Entre más pequeño es el valor de la desviación estándar, más cercanos están los valores originales de  $Y_i$  con respecto a la línea recta y por lo tanto hay menor dispersión entre los valores de  $Y_i$  respecto a  $Y_e$ . La desviación estándar de regresión puede

ser usada como una medida del grado de dependencia de la relación entre las variables.

### 2.8.2.3. COEFICIENTE DE CORRELACION

La correlación mide la intensidad o fuerza con que están relacionadas las variables y esta cuantificada por el coeficiente de correlación ( $r$ ). El valor de  $r$  esta comprendido entre 0 y 1, siendo que entre mas cercano este  $r$  a 1, mas asociación existe entre las variables y viceversa.

La correlación y la regresión están íntimamente relacionadas, ya que entre mayor sea el valor del coeficiente de correlación  $r$ , mayor será la utilidad de la ecuación de regresión para hacer estimaciones de la variable independiente en función de la variable dependiente.

El coeficiente de correlación se calcula a partir de la siguiente formula:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

### 2.8.3. CALCULO DE LA ECUACION $Y = a + bX$

Utilizando la regresión lineal en cada una de las tablas anteriormente mostradas, se obtienen los resultados mostrados en la TABLA 2.13.

BOMBA#	MANGUERA	a	b	r	o	Y=a+bX
1	1/4"x1/16"	-60.42	14.24	0.9961	77.73	Y=14.23X-60.42
1	3/8"x1/8"	-86.68	28.34	0.9995	53.06	Y=28.34X-86.68
1	3/8"x1/16"	-86.68	28.34	0.9995	53.06	Y=28.34X-86.68
2	1/4"x1/16"	-6.49	12.82	0.9967	12.69	Y=12.82X-6.49
3	1/4"x1/16"	16.44	12.05	0.9940	16.72	Y=12.05X+16.44
4	1/4"x1/16"	-27.52	13.21	0.9984	45.70	Y=13.21X-27.52
4	3/8"x1/8"	44.82	28.26	0.9919	228.23	Y=28.26X+44.82
4	3/8"x1/16"	79.03	28.23	0.9918	229.70	Y=28.23X+79.03
5	1/4"x1/16"	-21.79	13.20	0.9993	30.20	Y=13.20X-21.79
5	3/8"x1/8"	11.59	28.47	0.9973	127.54	Y=28.47X+11.59
5	3/8"x1/16"	5.86	28.59	0.9974	126.99	Y=28.59X+5.86

TABLA 2.13

En esta tabla se presentan cada una de las constantes que modifican a la velocidad para obtener la ecuación de la línea recta que mejor representa a la diversidad de puntos obtenidos en la calibración (ver Gráficos 2.1 a 2.11).

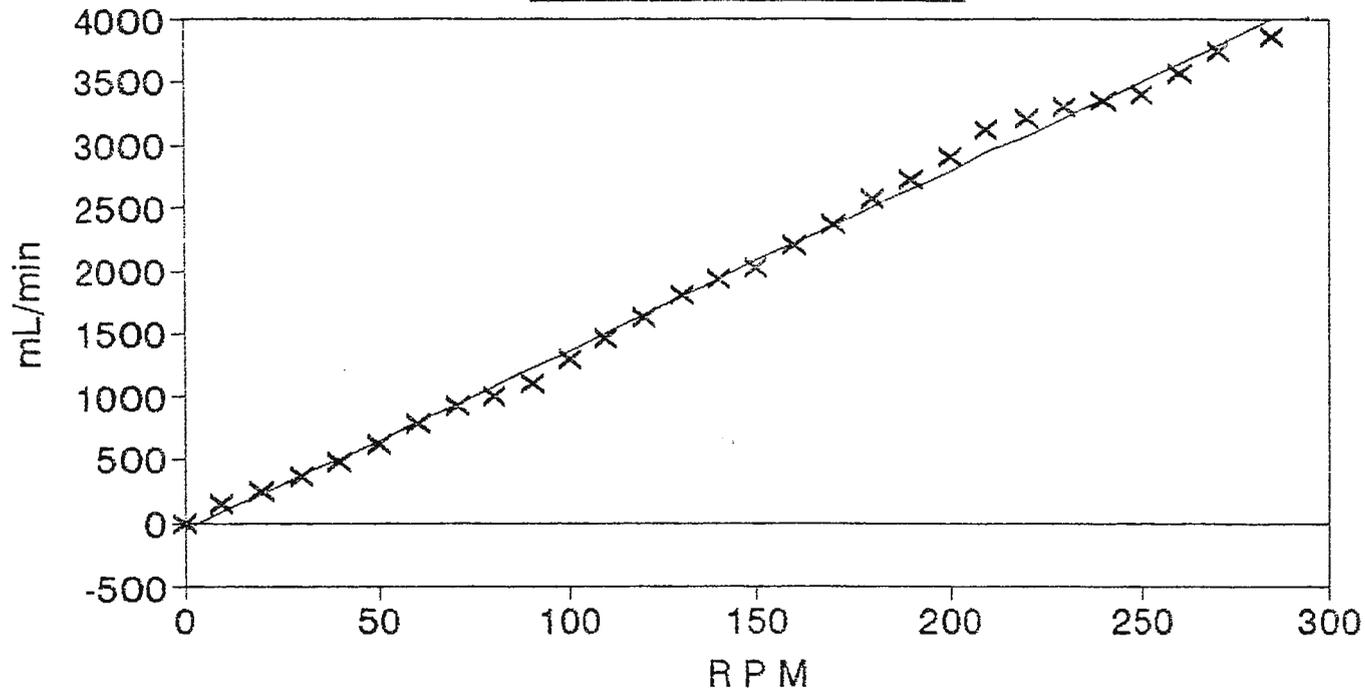
#### 2.8.4. CALCULO DEL FLUJO CONSIDERANDO EL VOLUMEN DEL GOLPE

El flujo de salida de cada bomba puede ser determinado utilizando una constante conocida como el volumen del golpe. Anteriormente se definió este término como el volumen simple que fluye en una sola revolución. Para la determinación de esta constante se divide el volumen por minuto desplazado entre la velocidad de rotación de la bomba para cada uno de los puntos obtenidos durante la calibración. La constante a utilizar ( $V_g$ ) resulta ser el promedio de las constantes obtenidas para una tabla específica. Con el valor de  $V_g$  determinado, se puede obtener el flujo para cualquier velocidad (ver Tablas 2.2 a 2.12).

Comparando los resultados obtenidos entre este método y los resultados obtenidos por regresión lineal, se establece que el segundo método es más representativo de los puntos discretos obtenidos en el proceso de calibración (ver Gráficos 2.12 a 2.22).

# BOMBA #1

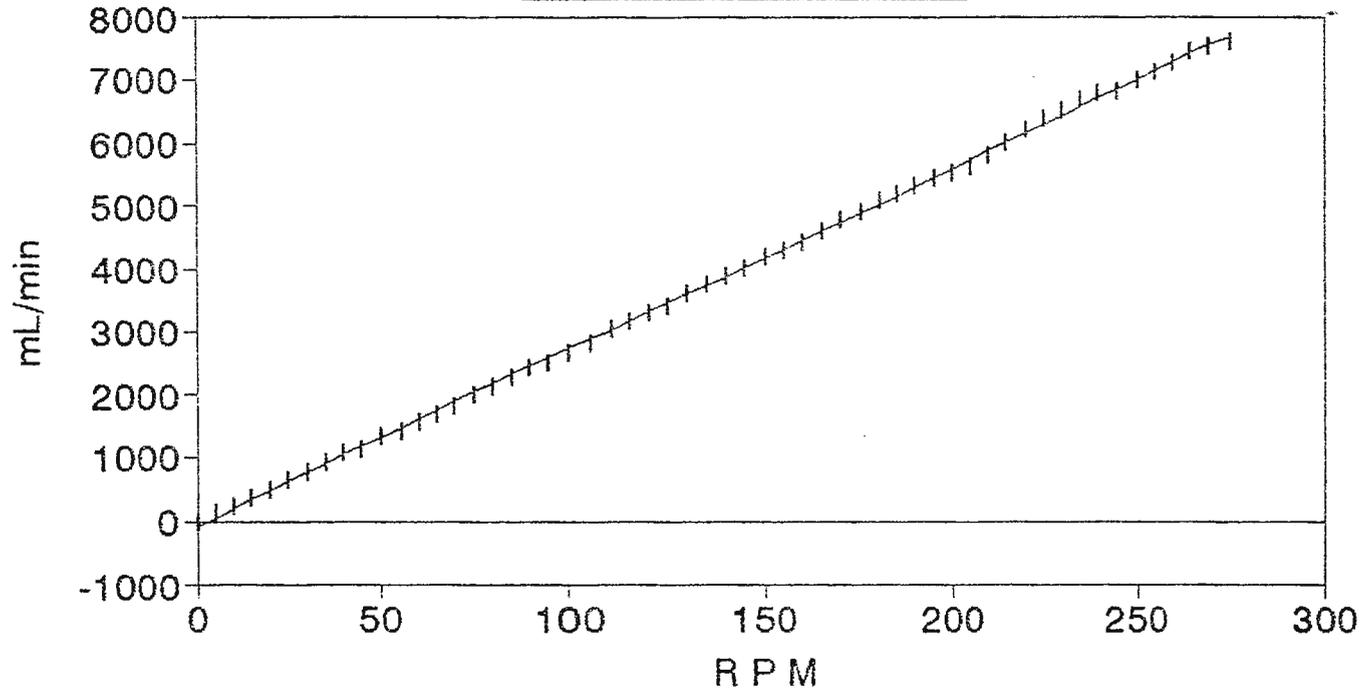
1/4"x1/16"



— TEORICO × REAL

GRAF. 2-1

**BOMBA #1**  
3/8"x1/16"

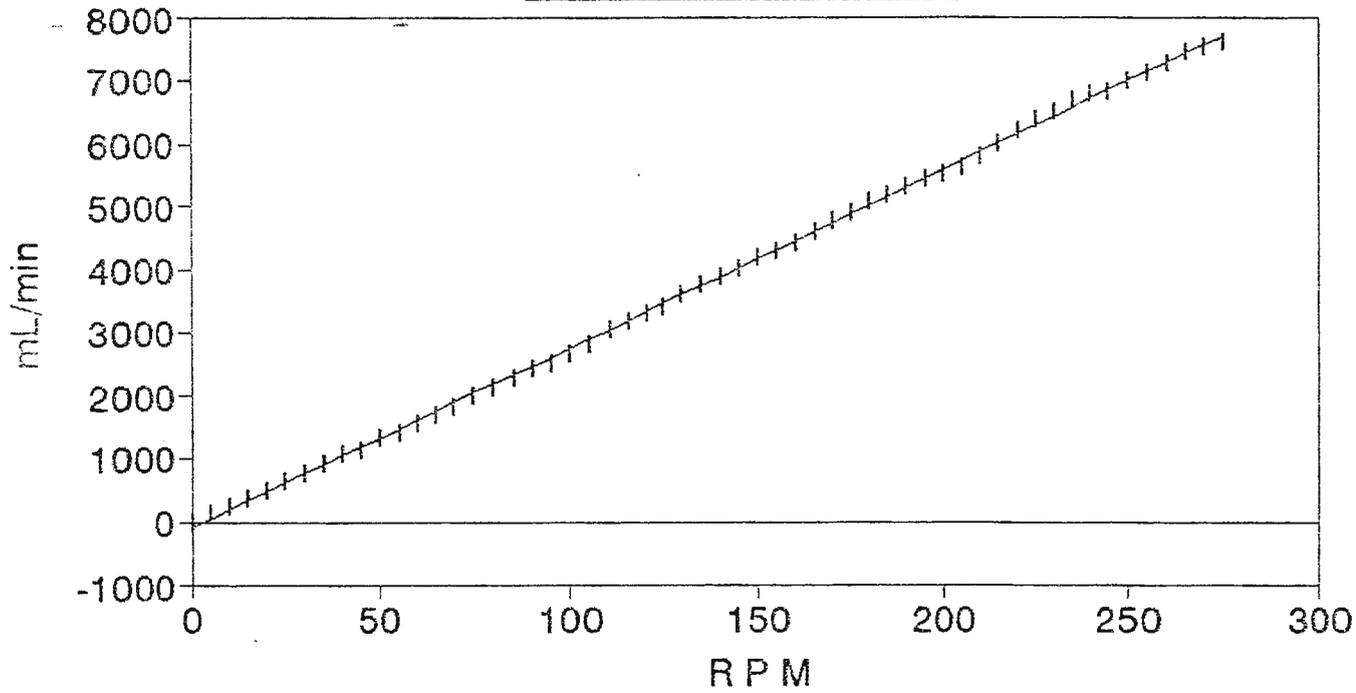


— TEORICO | REAL

GRAF. 2-2

# BOMBA #1

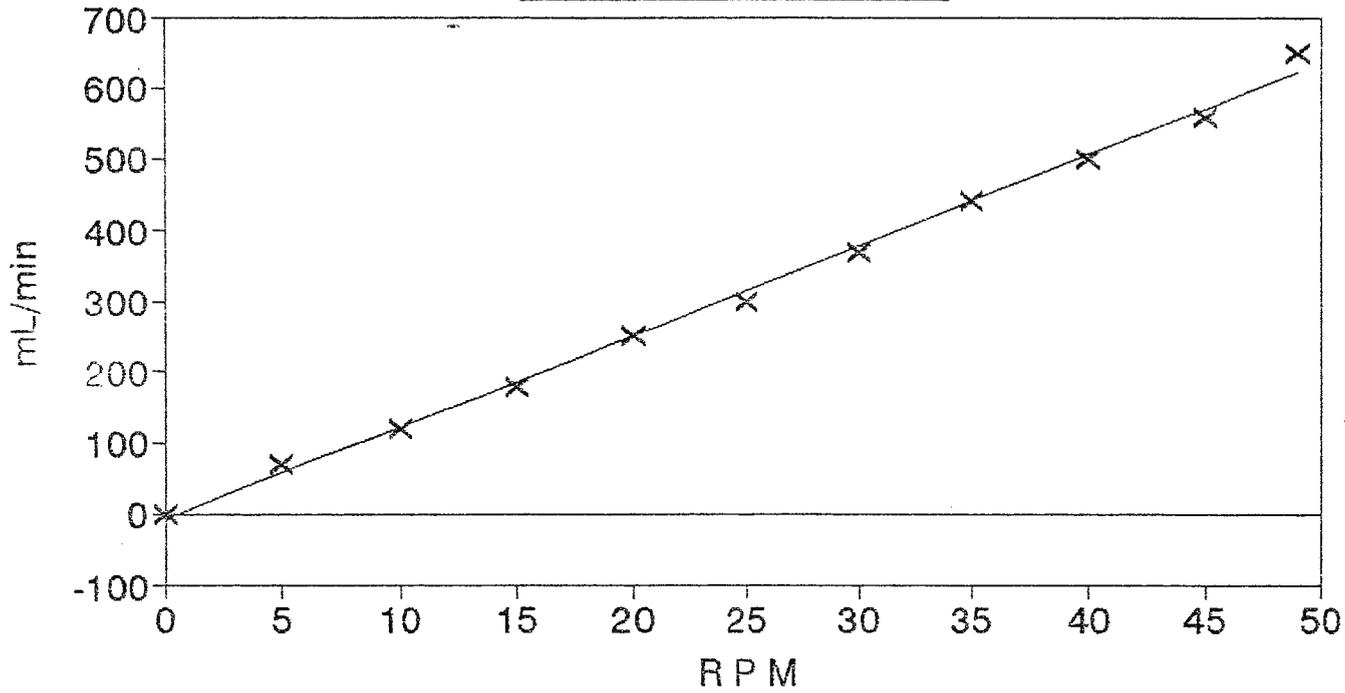
3/8"x1/8"



— TEORICO | REAL

GRAF. 2-3

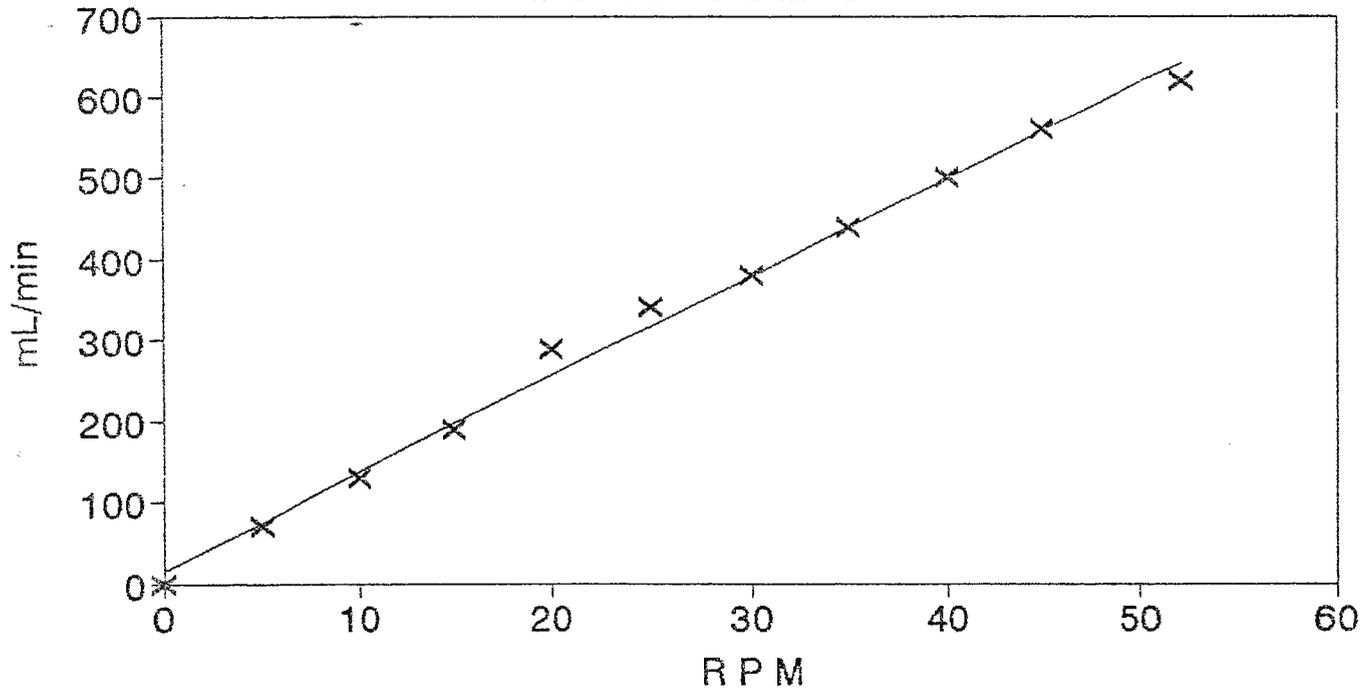
**BOMBA #2**  
1/4"x1/16"



— TEORICO × REAL

GRAF. 2-4

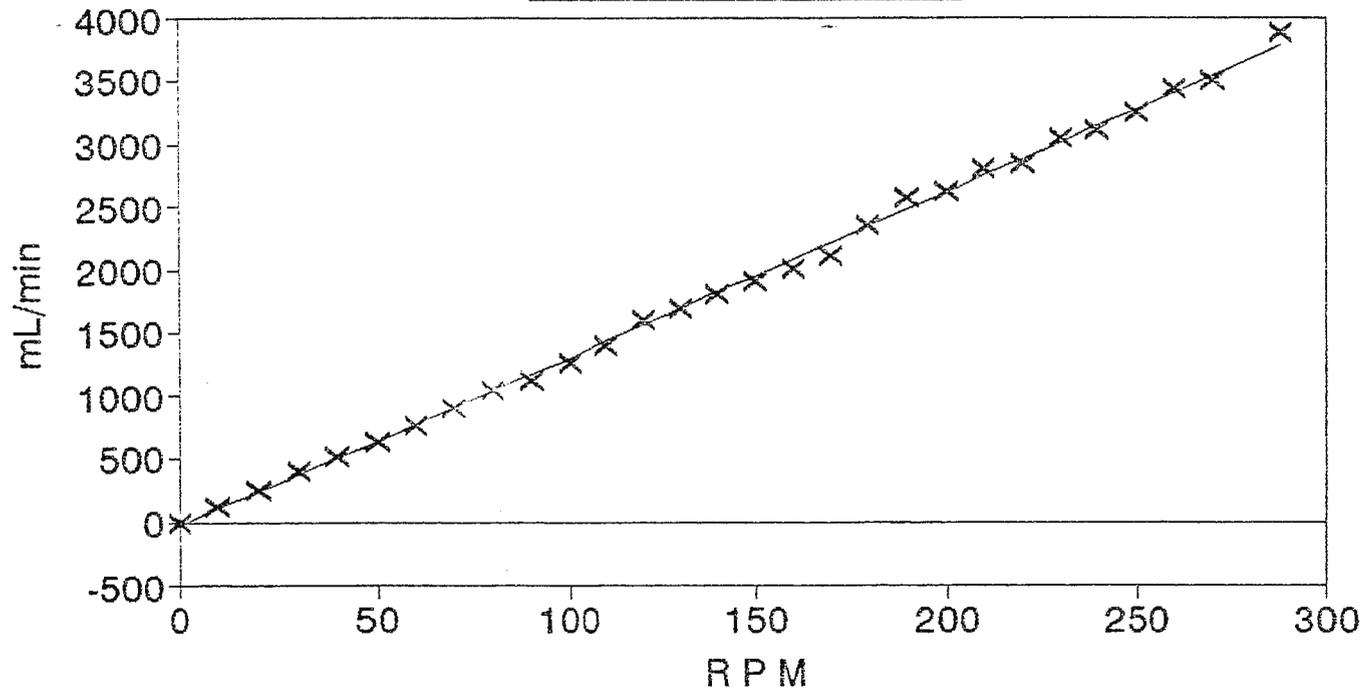
**BOMBA #3**  
1/4"x1/16"



— TEORICO × REAL

GRAF. 2-5

**BOMBA #4**  
1/4"x1/16"

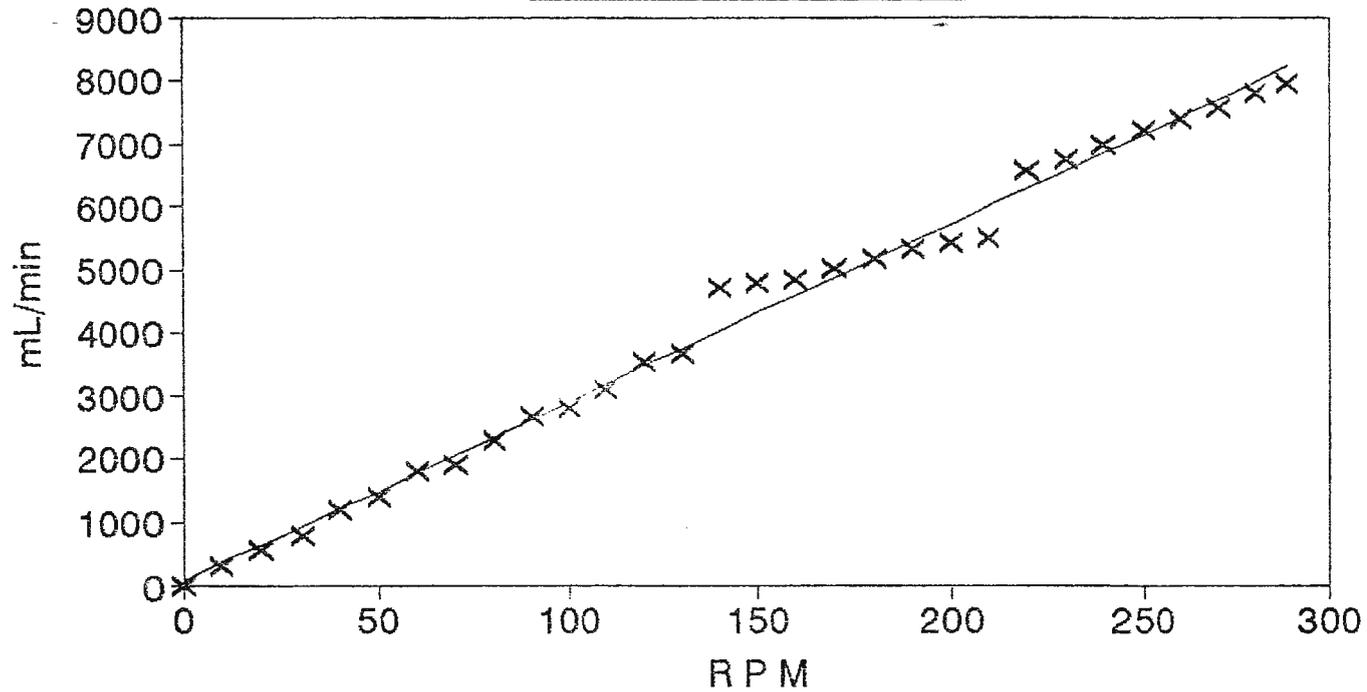


— TEORICO × REAL

GRAF. 2-6

# BOMBA #4

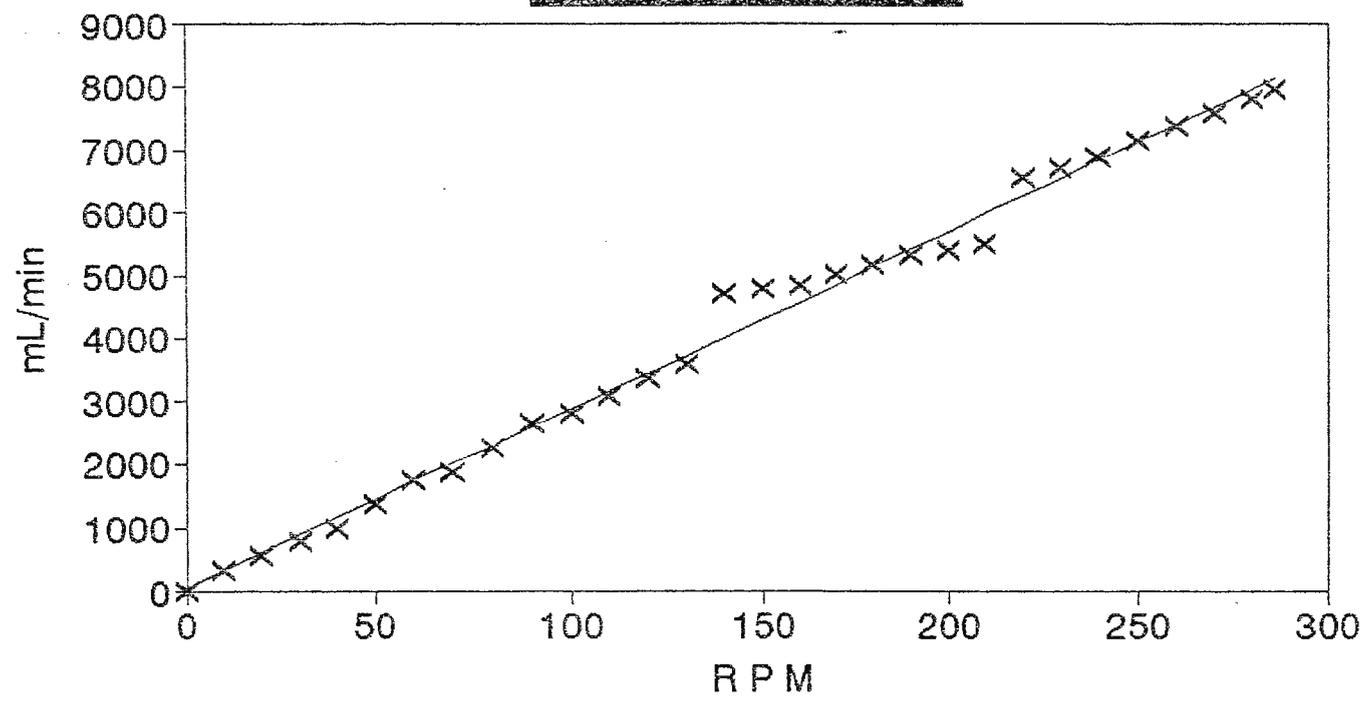
3/8"x1/16"



— TEORICO × REAL

GRAF. 2-7

**BOMBA #4**  
3/8"x1/8"

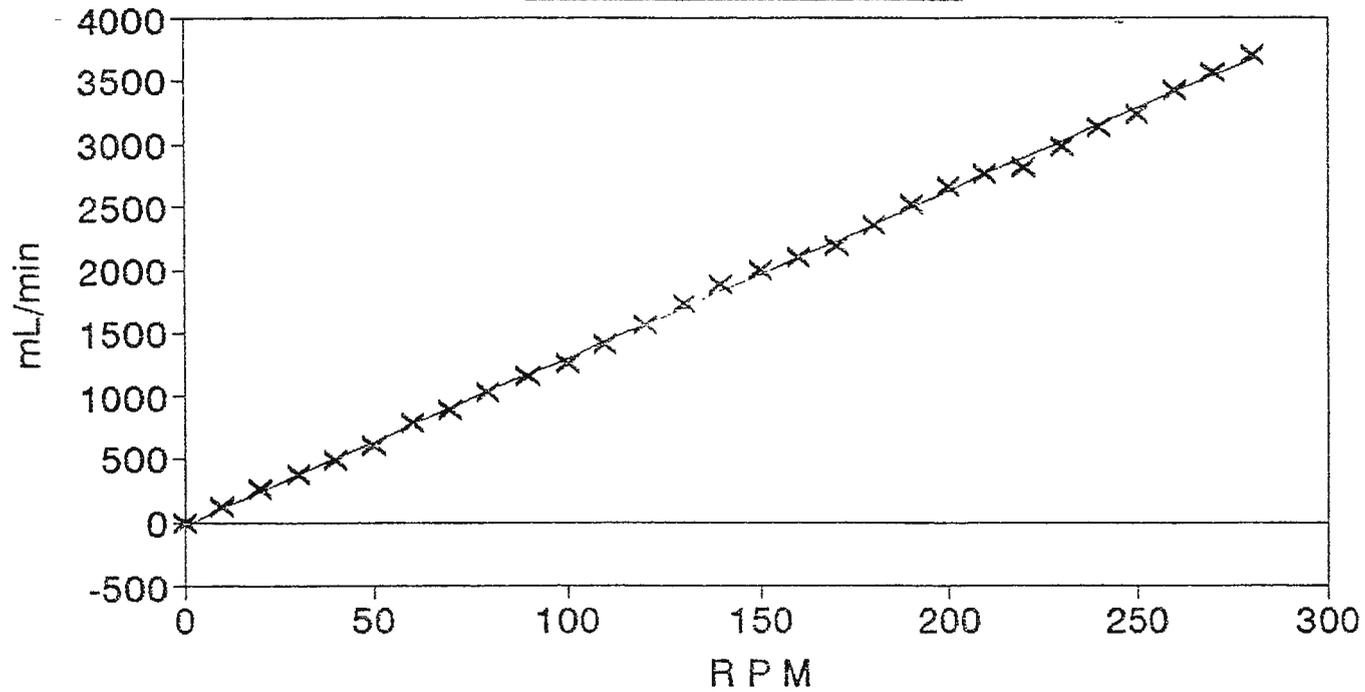


— TEORICO × REAL

GRAF. 2-8

# BOMBA #5

1/4"x1/16"

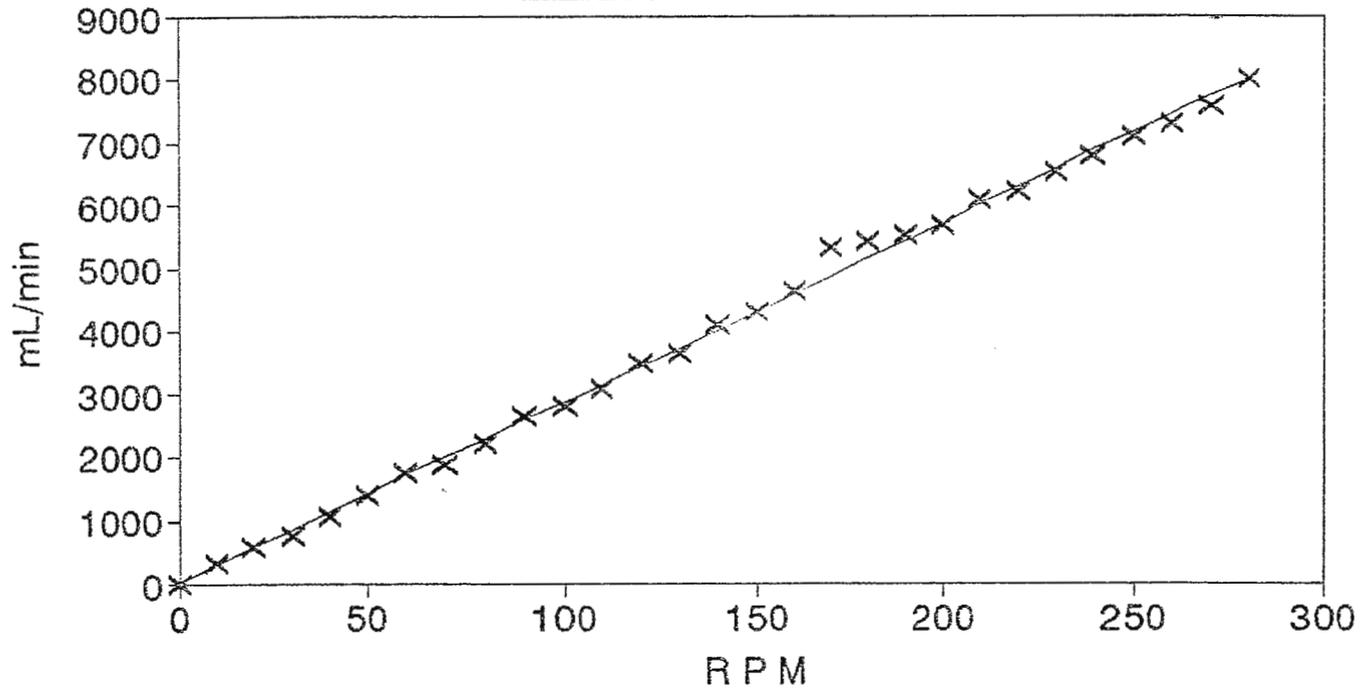


— TEORICO × REAL

GRAF. 2-9

# BOMBA #5

3/8"x1/16"

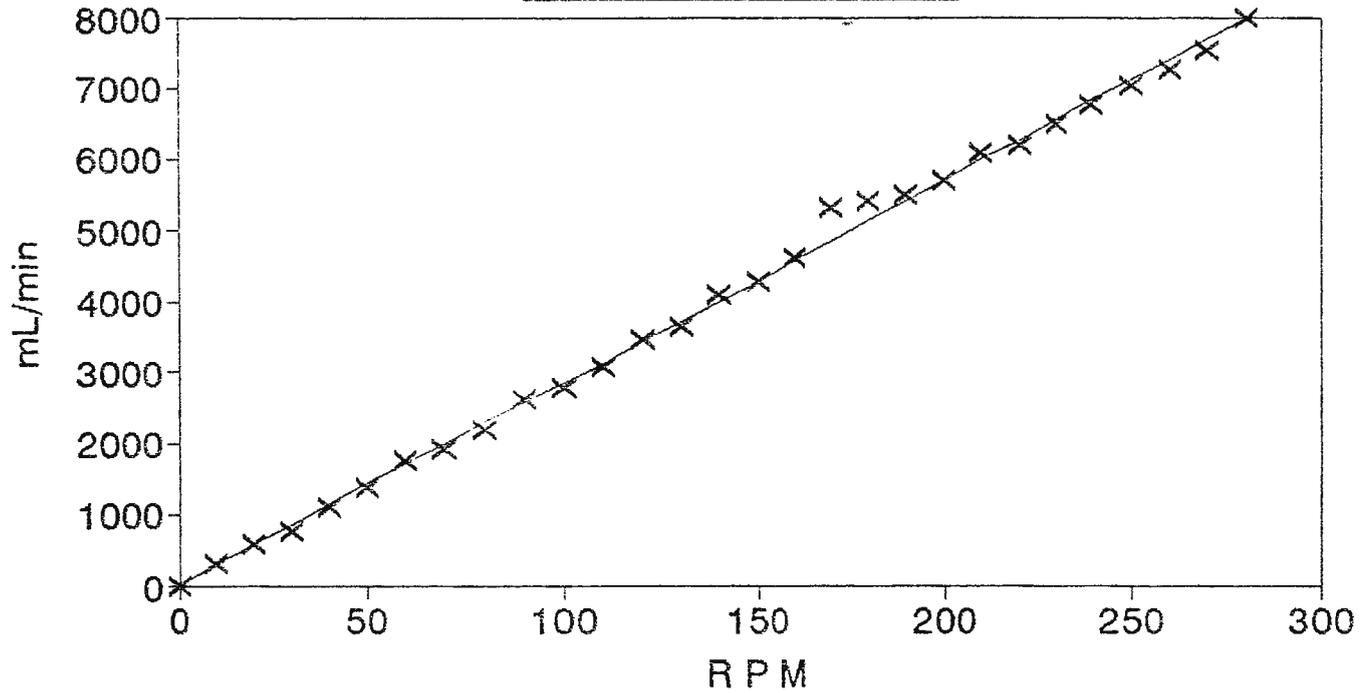


— TEORICO × REAL

GRAF. 2-10

# BOMBA #5

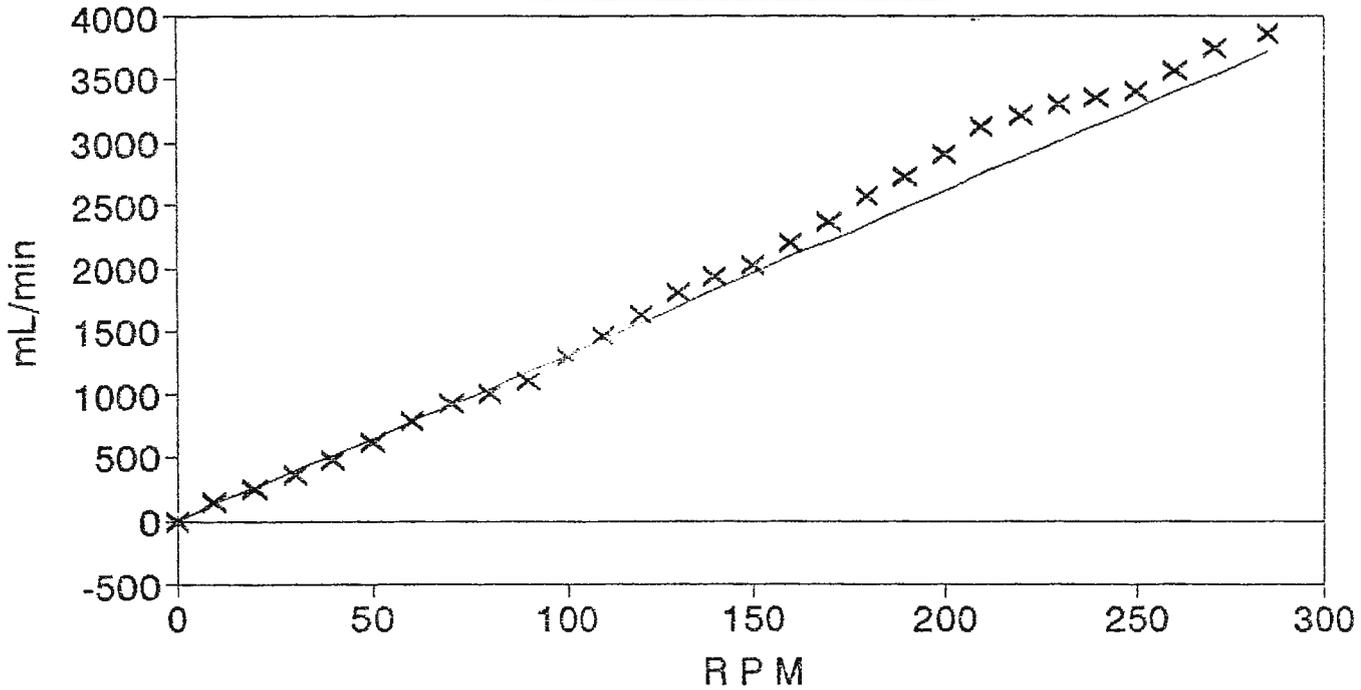
3/8"x1/8"



— TEORICO × REAL

GRAF. 2-11

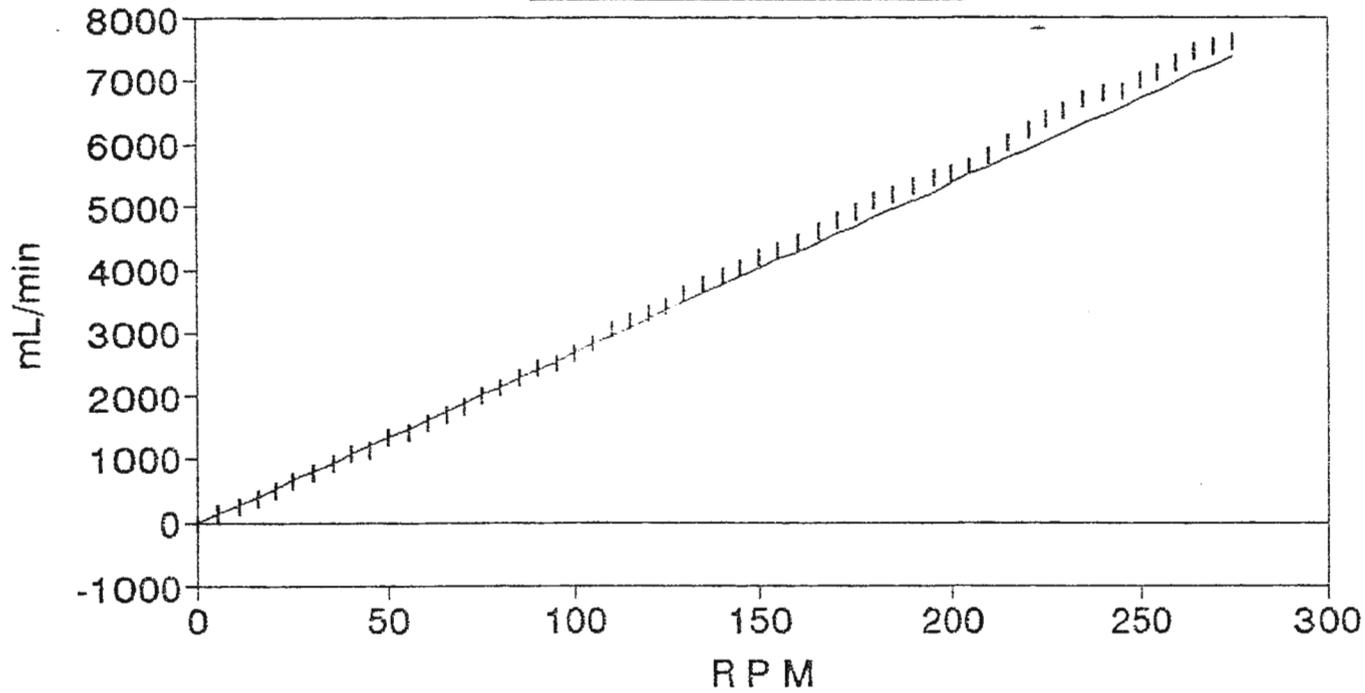
**BOMBA #1**  
1/4"x1/16"



—  $V_g \times \text{RPM}$  × REAL

GRAF.2-12

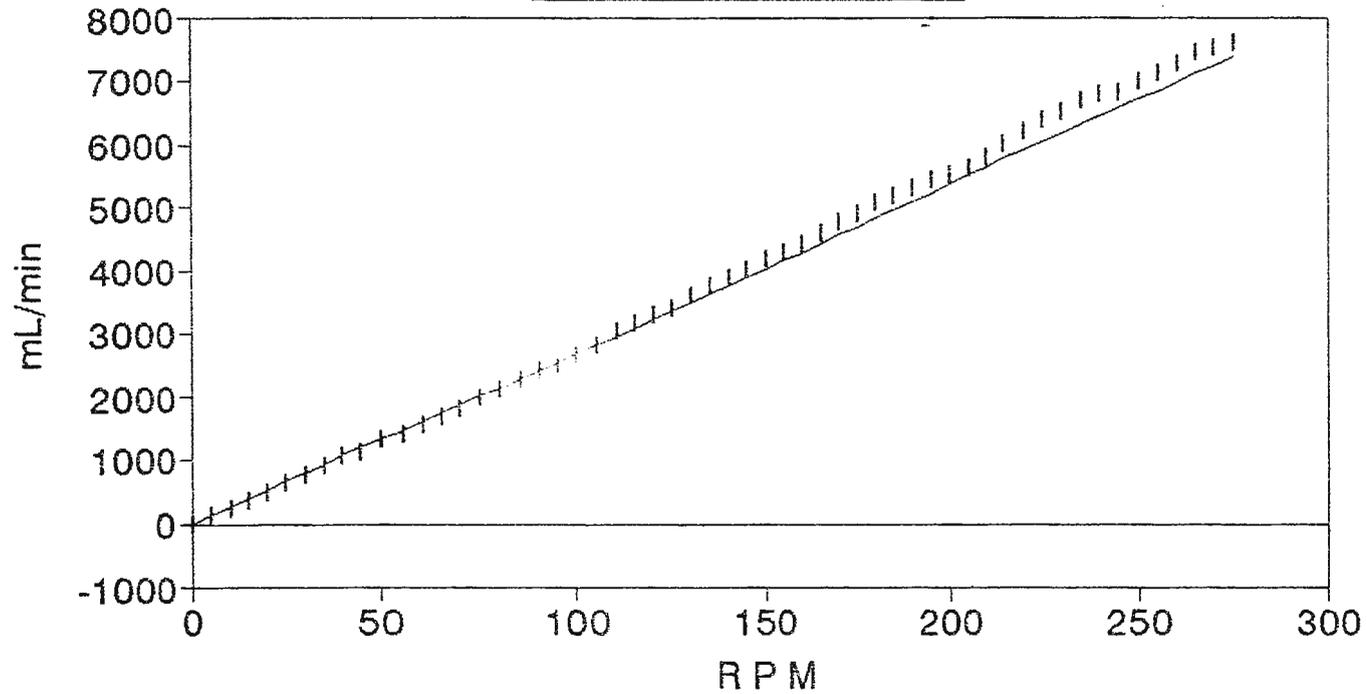
**BOMBA #1**  
3/8"x1/16"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  | REAL

GRAF. 2-13

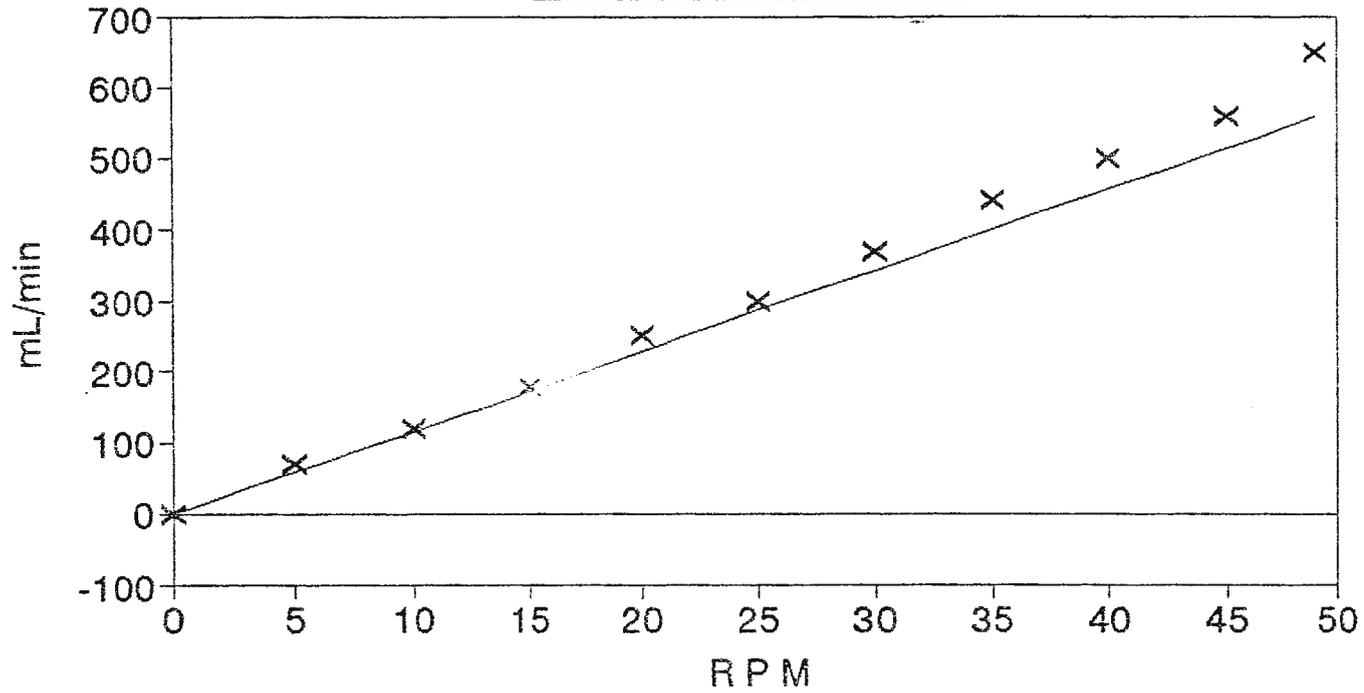
**BOMBA #1**  
3/8"x1/8"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  | REAL

GRAF. 2-14

**BOMBA #2**  
1/4"x1/16"

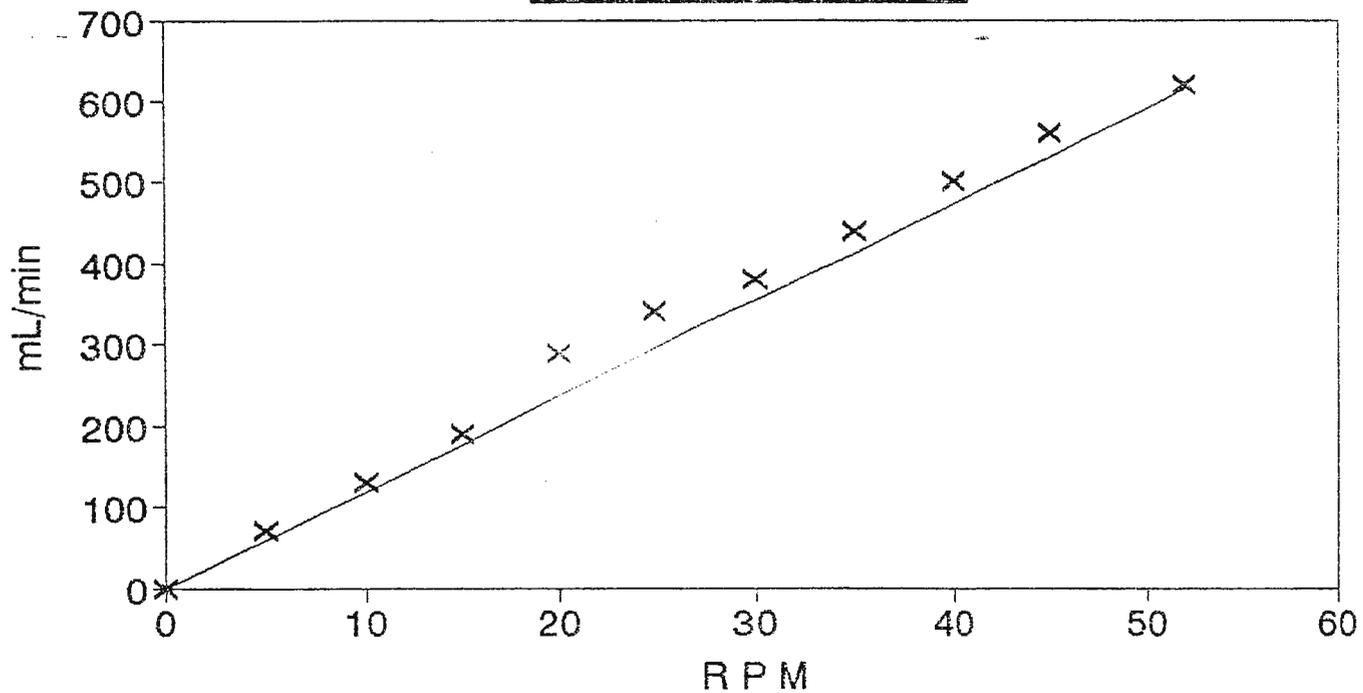


—  $V_g \cdot \text{RPM}$      $\times$  REAL

GRAF. 2-15

# BOMBA #3

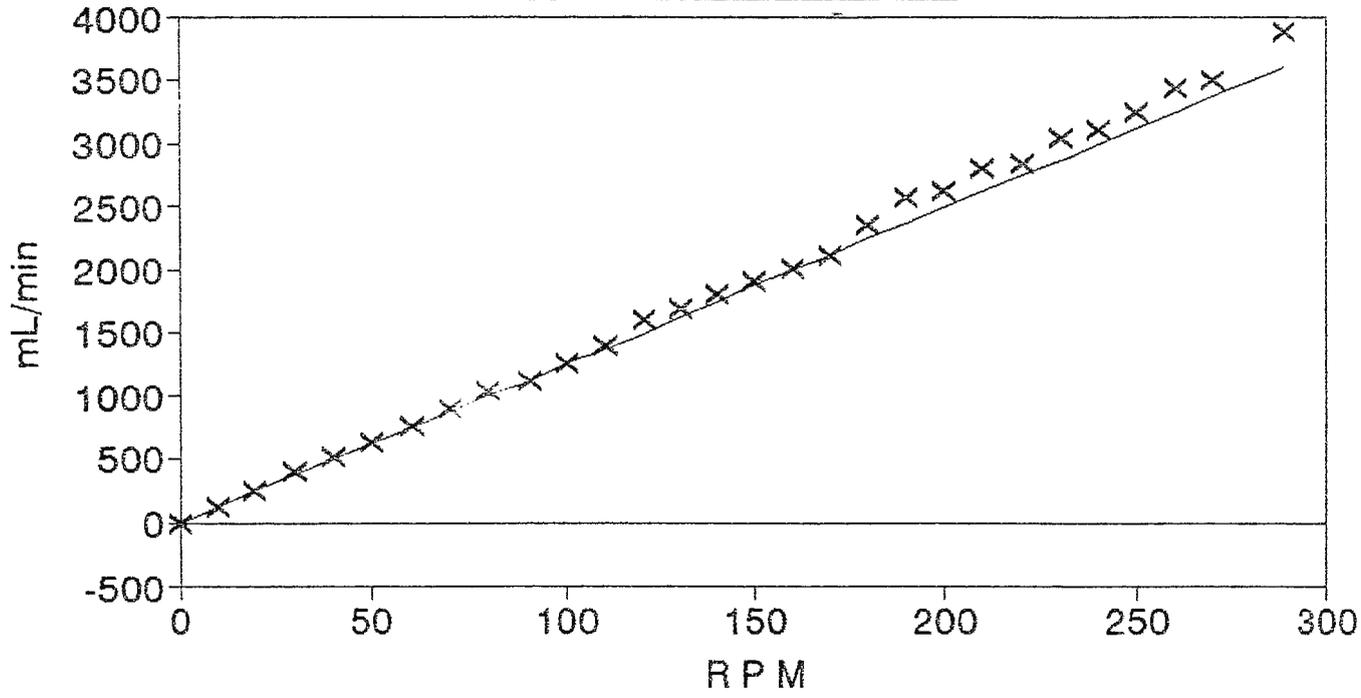
1/4"x1/16"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-16

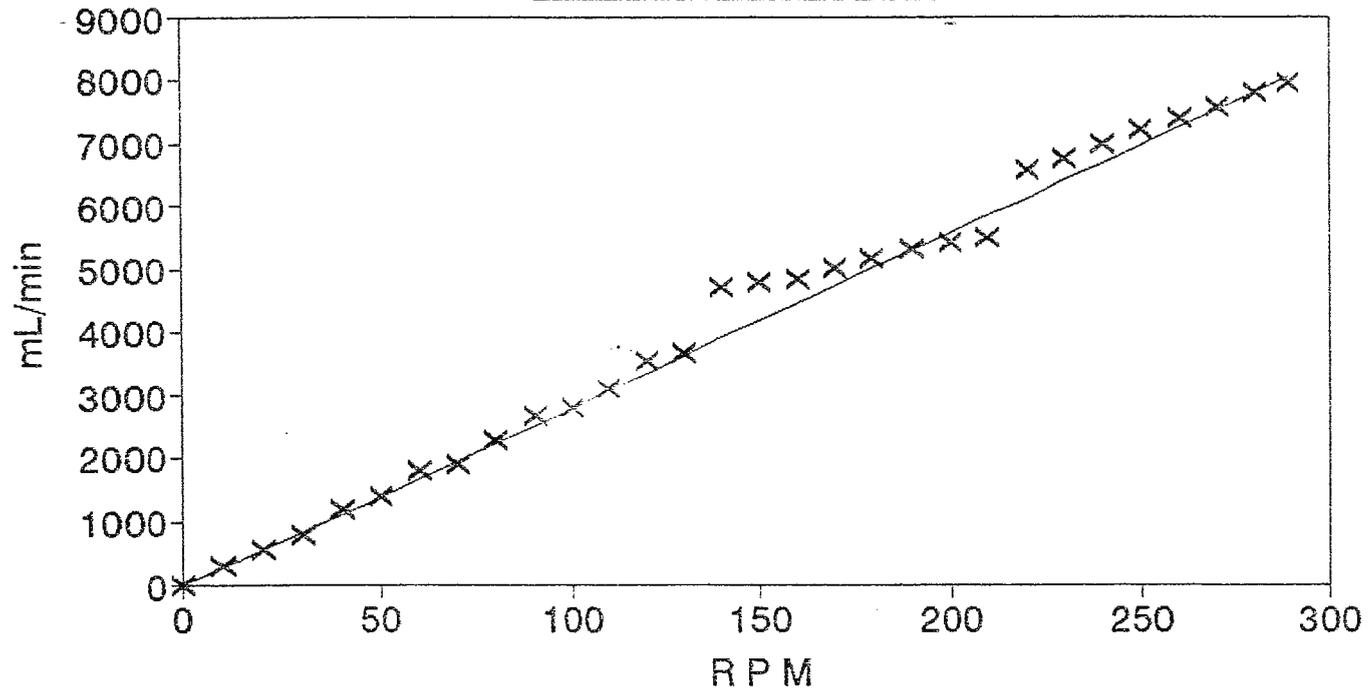
**BOMBA #4**  
1/4"x1/16"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-17

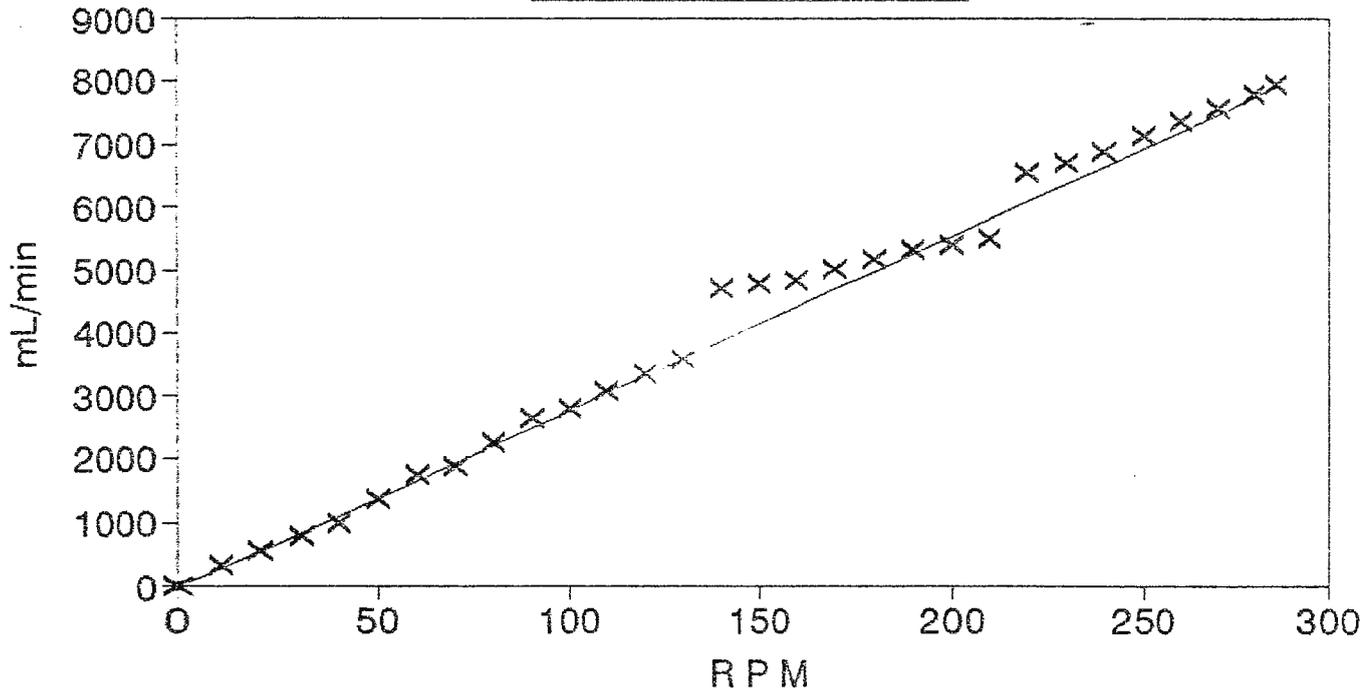
**BOMBA #4**  
3/8"x1/16"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-18

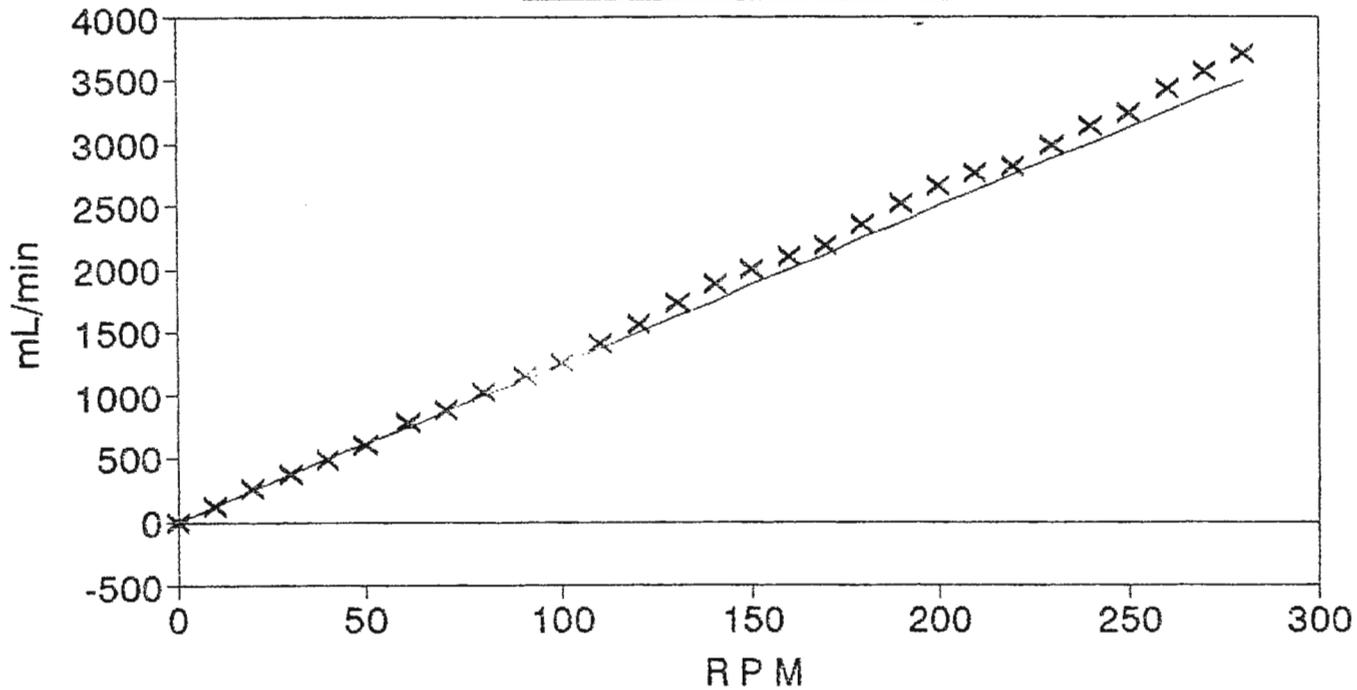
**BOMBA #4**  
3/8"x1/8"



—  $V_g \times \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-19

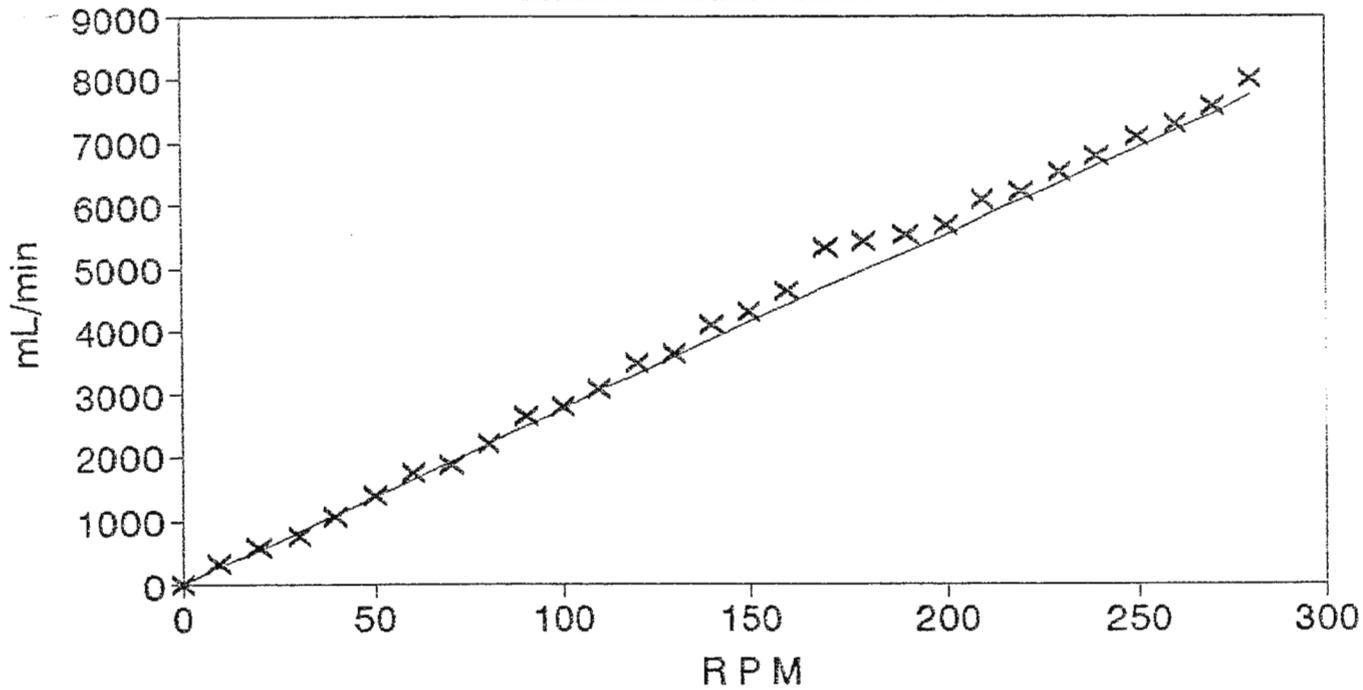
**BOMBA #5**  
1/4"x1/16"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-20

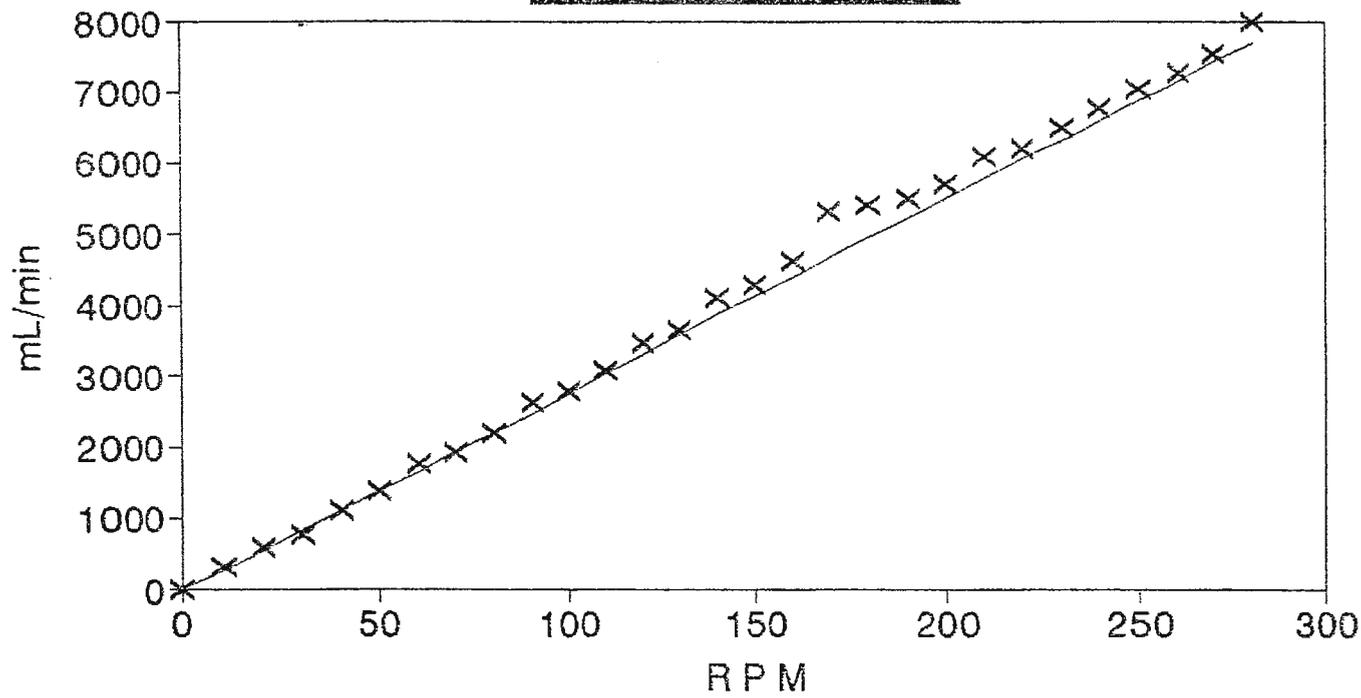
**BOMBA #5**  
3/8"x1/16"



— Vg \* RPM    x    REAL

GRAF. 2-21

**BOMBA #5**  
3/8"x1/8"



—  $V_g \cdot \text{RPM}$  × REAL

GRAF. 2-22

### 2.8.5. MEDICIÓN DE SEÑALES

Para la elaboración de un circuito capaz de transformar la velocidad de rotación (RPM) en la salida requerida (flujo en mL/min), es necesaria la obtención de una señal proveniente del interior del equipo que pueda ser tratada con este fin.

La señal a transformar provendrá del transductor del tacómetro digital que suministra un tren de pulsos, cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de rotación (ver Tabla 2.14). Esta señal será modificada electrónicamente de tal manera que se sume la constante  $a$  y se multiplique por la constante  $b$  para obtener la ecuación de la recta que representa al flujo de cada una de las bombas considerando el diámetro de manguera a utilizar (el uso de diferentes diámetros de manguera permite manejar diferentes valores de flujo para una misma velocidad de trabajo de las bombas peristálticas, siendo que para menores diámetro el flujo correspondiente es menor).

Partiendo del disco giratorio del eje de la bomba se procedió a localizar el circuito que transforma la velocidad de giro a un voltaje o señal útil para procesarla y llevarla a un display que la represente (el circuito que posibilita la transformación esta bosquejado en la FIGURA 2-7). Analizando este circuito se establecieron dos puntos de prueba, en los cuales se realizaron mediciones con un osciloscopio con el afán de encontrar el lugar óptimo para tomar la señal.

El punto 1 se encuentra a la salida del opto-acoplador (H13B1) donde se obtuvo una señal cuasi-cuadrada con un voltaje de 0.75 V y un ciclo de trabajo pequeño.

V(RPM)	T(mS)	F(Hz)
10	80.00	12.50
25	36.00	27.77
50	20.00	50.00
100	10.00	100.00
125	8.00	125.00
150	6.40	156.25
175	5.60	178.57
200	4.80	208.33
225	4.20	238.09
250	3.80	263.15
275	3.50	285.71
300	3.20	312.50

**TABLA 2.14**

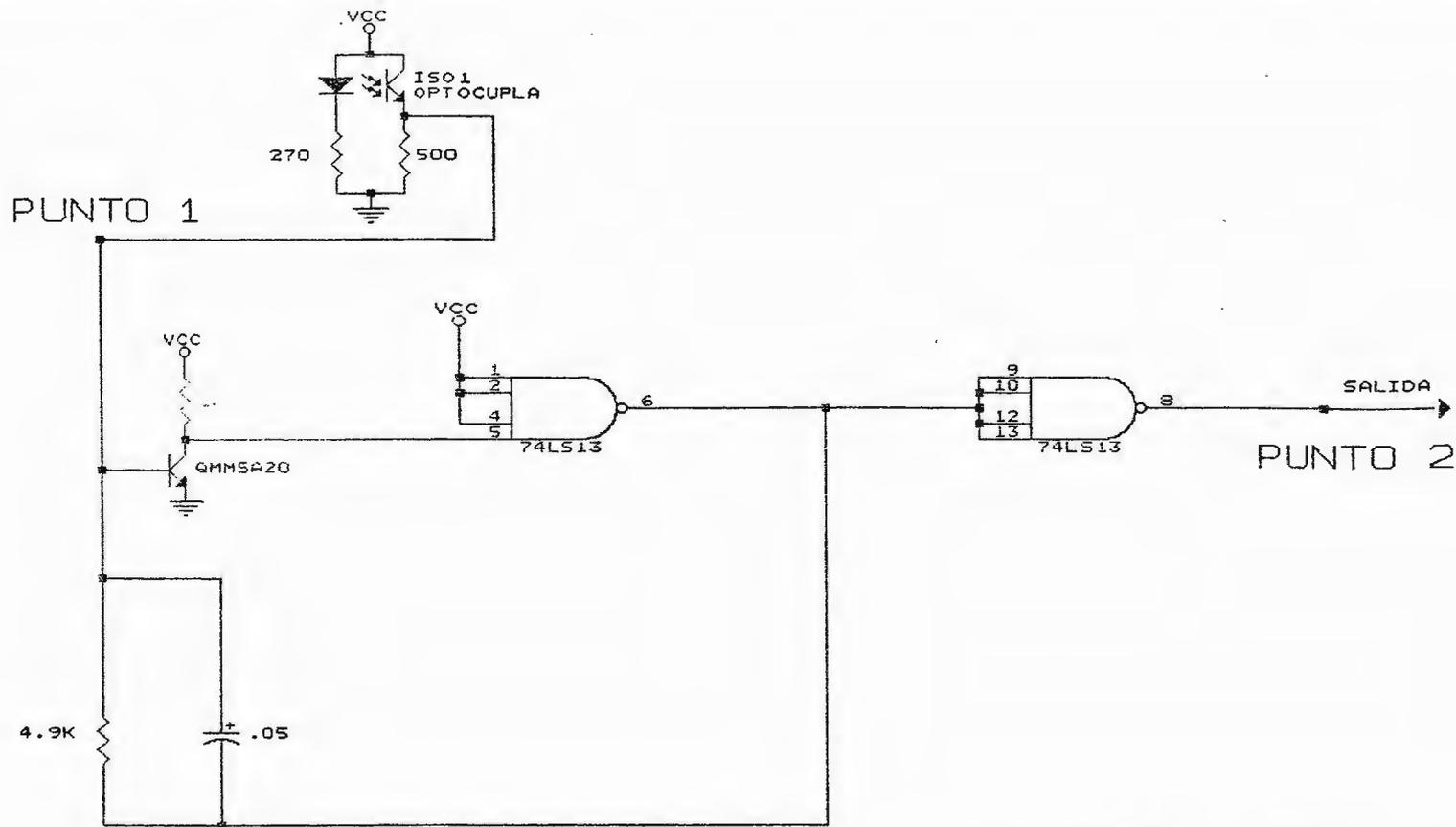


FIG. 2-7

TACÓMETRO DIGITAL DE LAS BOMBAS DE PERFUSION

El punto 2 está ubicado a la salida de una compuerta NAND de cuatro entradas con disparador (N7413A), proveniente de otra compuerta NAND de similares características, en la cual tres entradas están conectadas a Vcc (uno lógico) y una está conectada al colector de un transistor (MMSA20). En este punto se obtiene una señal cuadrada con un voltaje de 4 V que tiene un ciclo de trabajo grande (el punto 2 resulta ser la señal invertida y amplificada del punto 1. Ver FIGURA 2-8).

Considerando lo anteriormente expuesto, la señal que pasará al módulo auxiliar provendrá del punto de prueba 2, tomando en consideración que esta señal puede ser tratada digitalmente gracias a sus características, y que representa a la velocidad de giro de la bomba peristáltica (la frecuencia del tren de pulsos resulta ser directamente proporcional a la velocidad).

## 2.9. ACOPLA DE LA SEÑAL OBTENIDA PARA SU USO EN EL MÓDULO AUXILIAR DE MEDICIÓN

La señal obtenida en el punto 2 físicamente será tomada de cada una de las bombas y deberá ser adecuada de forma tal que sus características no sean alteradas y no sea rebasado el valor de corriente de salida máximo de la compuerta NAND ( $I_{OH}=0.8$  mA), al utilizarla en el módulo auxiliar de medición. Para lograr esto, se hará uso de amplificadores operacionales que por el alto valor de impedancia que presentan en la entrada, reproducen la señal sin cargar al circuito precedente.

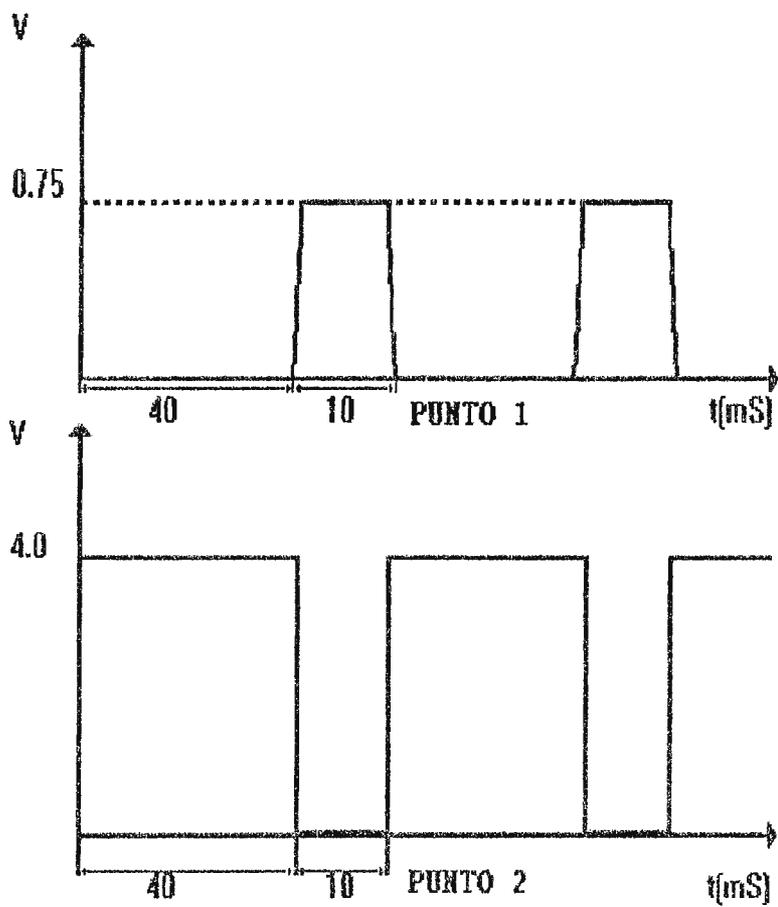


FIG. 2-8. Puntos de Prueba

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL MODULO AUXILIAR

#### 3.1. ANALISIS DEL PROBLEMA

El módulo auxiliar de medición necesita una señal proveniente de las bombas de circulación extracorpórea que sea representativa de la velocidad de rotación para poder transformarla a un valor representativo del flujo entregado por cada bomba para una manguera y velocidad determinada. Esta señal será tomada de un punto de prueba preestablecido denominado **Punto 2**, el cual se encuentra a la salida de la compuerta 74LS13 (ver FIGURA 2-7). Este punto de prueba proporciona un tren de pulsos cuya frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de rotación (ver FIGURA 2-8 y TABLA 2-14).

Esta transformación básicamente consiste en la determinación de la frecuencia del tren de pulsos a través del uso de un contador y una base de tiempo, la multiplicación de este valor binario obtenido por una constante  $b$ , y luego la suma de este resultado a una constante  $a$  (ver TABLA 2-13). Este nuevo resultado binario deberá ser transformado a código BCD y luego codificado a siete segmentos para su presentación.

El desarrollo de esta etapa de transformación puede presentar diferentes alternativas en cuanto a la multiplicación y suma de las constantes respectivas, quedando las restantes modificaciones prácticamente inalteradas. Se plantearon tres alternativas

válidas para realizar esta etapa:

- Uso de compuertas y sumadores;
- Uso de circuitos integrados multiplicadores y de Unidades Aritméticas Lógicas (ALU); y,
- Uso de un Microprocesador.

### 3.1.1. USO DE COMPUERTAS Y SUMADORES

La multiplicación de la constante  $b$  y el valor binario de la frecuencia puede ser realizada utilizando arreglos de compuertas AND (74LS08) y sumadores completos de cuatro bits, aprovechando la característica de la multiplicación de ser una suma abreviada. A continuación se presenta un modelo matemático del procedimiento a ser implementado utilizando los valores máximos esperados (300 RPM y  $b=29$ ):

$$\begin{array}{r}
 100101100 \times (300) \\
 \underline{\quad 11101} = (29) \\
 100101100 \\
 \underline{000000000} \\
 010010110 \\
 \underline{100101100} \\
 101110111 \\
 \underline{100101100} \\
 111100111 \\
 \underline{100101100} \\
 10000111111100 \quad (8700)
 \end{array}$$

La multiplicación de ambos valores se realiza a través del siguiente proceso:

a) Cada uno de los bits de la constante **b** (cinco bits máximo) determina el paso o no del valor binario de la frecuencia (nueve bits máximo) a su respectivo sumador.

b) Se realiza una suma de dos números binarios de ocho bits donde el bit menos significativo (LSB) del primer sumando no es considerado pues forma parte directamente de la respuesta, y el bit más significativo (MSB) del segundo sumando es el MSB del primer sumando en la siguiente suma.

c) La última suma requiere de un componente adicional, un semi-sumador, al cual se conectan el acarreo generado por esta y el MSB del valor de la frecuencia.

d) Se obtiene el resultado binario de la multiplicación (catorce bits).

La suma de este resultado obtenido en la multiplicación con la constante **a** (seis bits máximo) requiere la utilización de cuatro sumadores completos más.

La multiplicación y suma por este procedimiento requiere la utilización de:

- 31 compuertas AND (ocho 74LS08)
- 12 sumadores completos (74LS83)
- 1 compuerta EXOR (74LS86).

El circuito resultante es complejo en su conexión debido al gran número de circuitos integrados que contiene aunque es un diseño muy sencillo.

### 3.1.2. USO DE CIRCUITOS MULTIPLICADORES Y ALU'S

El circuito integrado 74LS261 (multiplicador binario de 4x2 bits) puede configurarse para operar  $4m \times 2n$  bits. El número de circuitos integrados a utilizar de este tipo, está dado por  $m \times n$ . Considerando que se desea multiplicar un número de nueve bits por una constante de cinco bits, se utilizan nueve 74LS261 [4(3)x2(3)]. Este arreglo requiere además el uso de tres ALU 74LS181, veintisiete 74LS183 (sumadores completos duales), compuertas NAND y AND. Para la suma se utilizan tres ALU adicionales.

Este circuito de multiplicación-suma, es complejo tanto en su diseño como en su alambrado. El volumen de integrados utilizados requiere un módulo auxiliar de gran tamaño.

### 3.1.3. USO DE MICROPROCESADOR

Otra alternativa que permite realizar la multiplicación y la suma de dos números binarios de  $n$ -bits es el uso de un microprocesador. El microprocesador es capaz de operar estos números binarios mediante un programa establecido en la memoria ROM (read only memory), convertir este resultado en código BCD y codificarlo posteriormente a siete segmentos.

El circuito resultante se reduce a el alambrado del microprocesador y sus periféricos (memorias ROM y RAM (random access memory), un adaptador de interface de periférico (PIA), circuito de reloj y manejadores de displays de siete segmentos).

Este circuito es más complejo que los anteriores en su diseño, pero debido a el gran volumen de circuitos integrados utilizados en las otras alternativas, se puede considerar de menor complejidad en el alambrado de todos los componentes (se emplean aproximadamente diez integrados para realizar la multiplicación, suma, conversión a BCD y transformación a siete segmentos).

### 3.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño adoptados incluyen:

- a) El volumen de componentes involucrados;
- b) La disponibilidad en el mercado nacional;
- c) Costos;
- d) Complejidad del circuito final;
- e) Potencia disipada;
- d) Velocidad de respuesta;
- e) Corrientes máximas de entrada y salida;
- f) Tolerancia del 5% en resistores y capacitores.

De acuerdo a estos criterios, el circuito que utiliza un microprocesador resulta el más viable, tanto por el menor volumen de circuitos integrados que requiere, como la disponibilidad de estos en el mercado nacional. Otro factor importante a considerar es la mayor velocidad de respuesta que presenta esta alternativa en comparación a las otras dos.

Es de hacer notar que las dos primeras alternativas requieren de una etapa de presentación bien definida, la cual requiere la conversión del número binario resultante a código BCD y luego a siete segmentos para su posterior presentación. El diseño con microprocesadores permitirá eliminar esta etapa, necesitando

únicamente manejadores de display de siete segmentos.

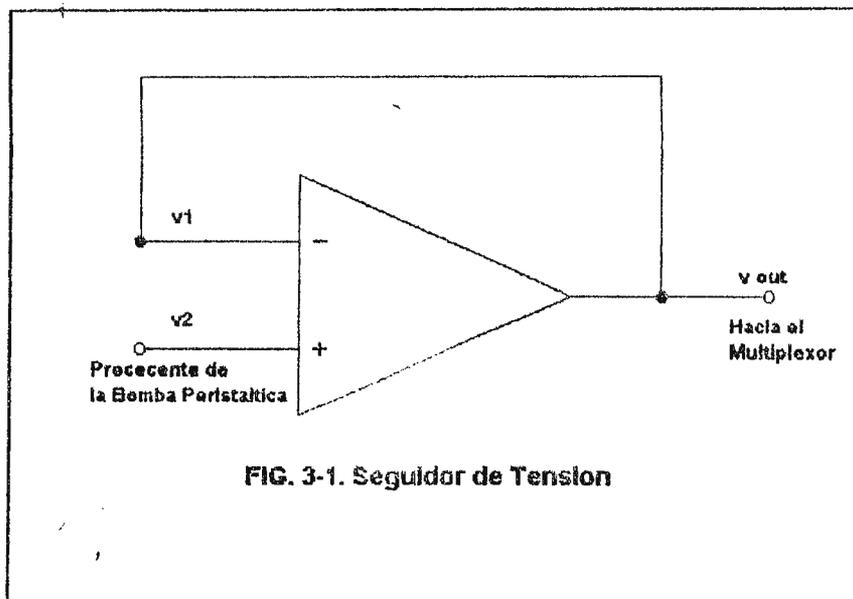
El microprocesador elegido es el 6502 de 8 bits. Se escogió este microprocesador debido a la sencillez de su programación, bajo costo y a la fácil obtención de información referente a este. Otro microprocesador de similares características analizado fue el 8085, el cual, al igual que el 6502, cumple con los requisitos mínimos exigidos para la elaboración del módulo auxiliar de medición. Se descartó el uso del microprocesador 8085 como resultado de ser altamente subutilizado debido a la mayor capacidad de trabajo que posee en comparación al 6502, aumentando la complejidad del circuito innecesariamente (este dispositivo requiere del uso de un circuito de reloj utilizando un cristal).

### 3.3. DISEÑO POR ETAPAS DEL MODULO AUXILIAR DE MEDICION

#### 3.3.1. ETAPA DE ACOPLÉ

Para tomar la señal proveniente de cada una de las bombas peristálticas del Punto 2 de la FIGURA 2-7, resulta necesario efectuar un acople de esta señal con el objeto de no alterar las características eléctricas del circuito interno de las bombas encargado de presentar la velocidad de giro (no debe superarse el valor de corriente de salida máximo de la compuerta 74LS13 que es de 0.8 mA ( $I_{OH}=0.8$  mA) y debe consumirse el mínimo posible de corriente).

Este acople se realizará mediante la utilización de un seguidor de tensión elaborado con operacionales (FIGURA 3-1). Este circuito refleja la señal de entrada sin modificarla gracias a su alta impedancia de entrada y bajo consumo de corriente.



Es necesario conectar a cada uno de los circuitos internos de las bombas peristálticas un circuito seguidor de tensión, lo cual implica el uso de cinco amplificadores operacionales que presenten una alta impedancia de entrada, necesaria para asegurar un bajo consumo de corriente del circuito precedente. El circuito integrado a usar será el **MC3403**, el cual consta de cuatro operacionales con una resistencia de entrada típica de  $1\text{ M}\Omega$ , lo que asegura un consumo de corriente a la salida de la compuerta NAND 74LS13 en el punto 2 de cada bomba (**FIGURA 2-7**) de solamente  $4\ \mu\text{A}$  (este valor es despreciable si se compara con la capacidad de corriente que manejan estas compuertas que es de  $800\ \mu\text{A}$ ). Deberá utilizarse, para completar el número de operacionales requerido, el circuito integrado **MC1458**, el cual consta de dos amplificadores operacionales, que tienen una resistencia de entrada típica de  $2\text{M}\Omega$ , lo que produce un consumo de corriente de  $2\ \mu\text{A}$  en la bomba restante (ver **FIG. 3-2**).

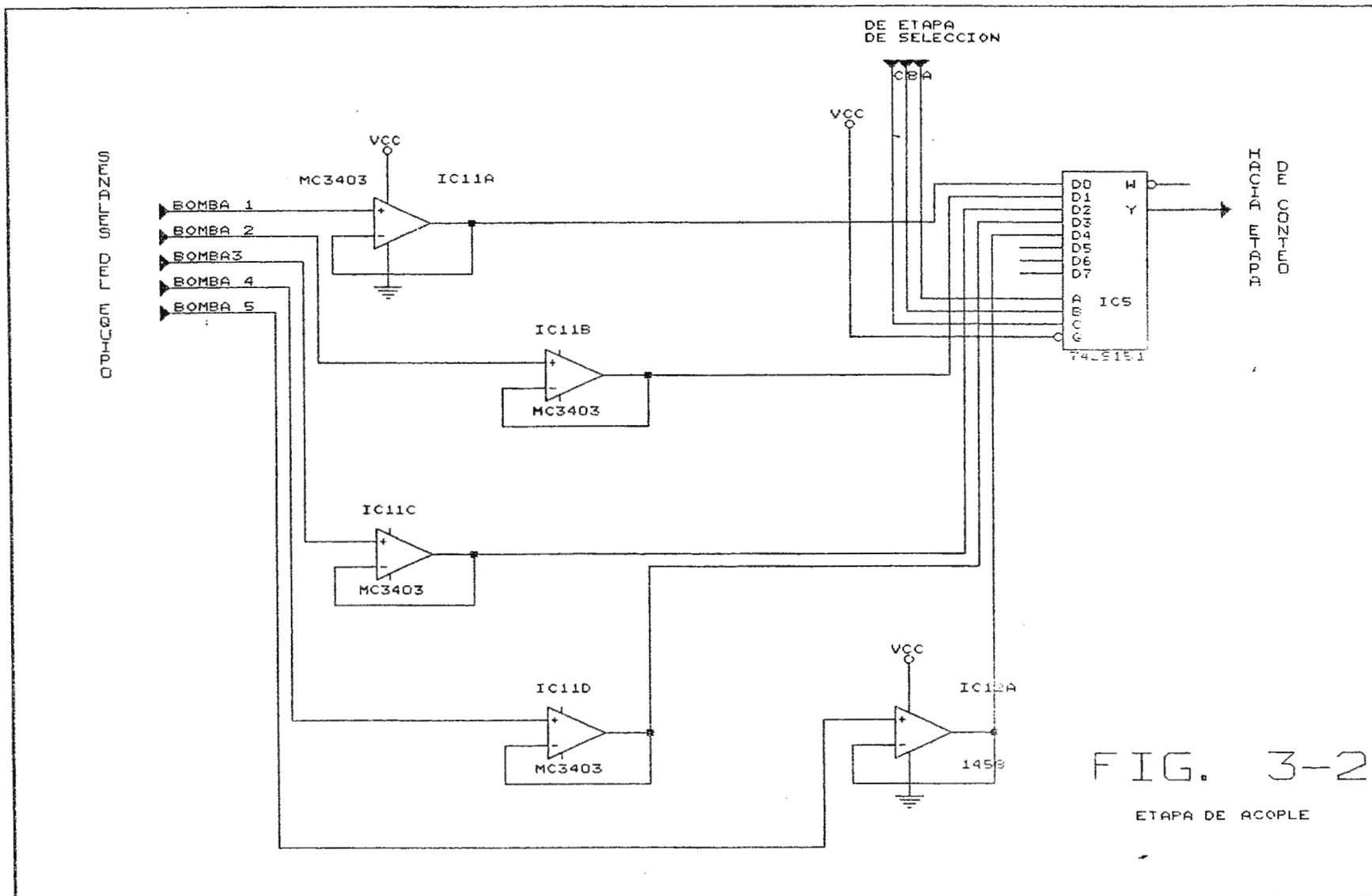


FIG. 3-2

ETAPA DE ACOPLE

### 3.3.2. ETAPA DE MULTIPLEXADO

Se utilizará un multiplexor para transmitir la señal de cada una de las bombas a una sola etapa de tratamiento. Se usará el multiplexor 74LS151, que consta de ocho canales de entrada por uno de salida y tres líneas de selección de canal. Este dispositivo tiene una velocidad de respuesta de 13 nS, y consume solo 30 mW.

Este circuito integrado es capaz de manejar los cinco canales provenientes de cada una de las bombas, a través de una selección mecánica de la bomba de interés, la cual permite el acceso únicamente a las primeras cinco entradas del multiplexor (D0 para la bomba 1, D1 para la bomba 2 y así sucesivamente hasta llegar a D4 para la bomba 5). La etapa de selección es la encargada de proporcionar los valores propicios para las líneas de entrada A,B,C del multiplexor para obtener a la salida el dato deseado.

### 3.3.3. ETAPA DE SELECCION DE BOMBA Y MANGUERA

Para manejar adecuadamente las señales provenientes de las bombas, se realiza una selección mecánica de las mismas y de la manguera a utilizar.

Esta selección mecánica de ambas componentes establece una combinación única que será aprovechada para manejar las tres entradas de selección del multiplexor y producir un código que leerá el microprocesador para extraer de una predeterminada dirección de la ROM los valores constantes de a y b respectivos a ser operados.

La etapa de selección consta de dos interruptores de múltiples posiciones; de cinco posiciones para la selección de la bomba, y de tres para la selección de la manguera.

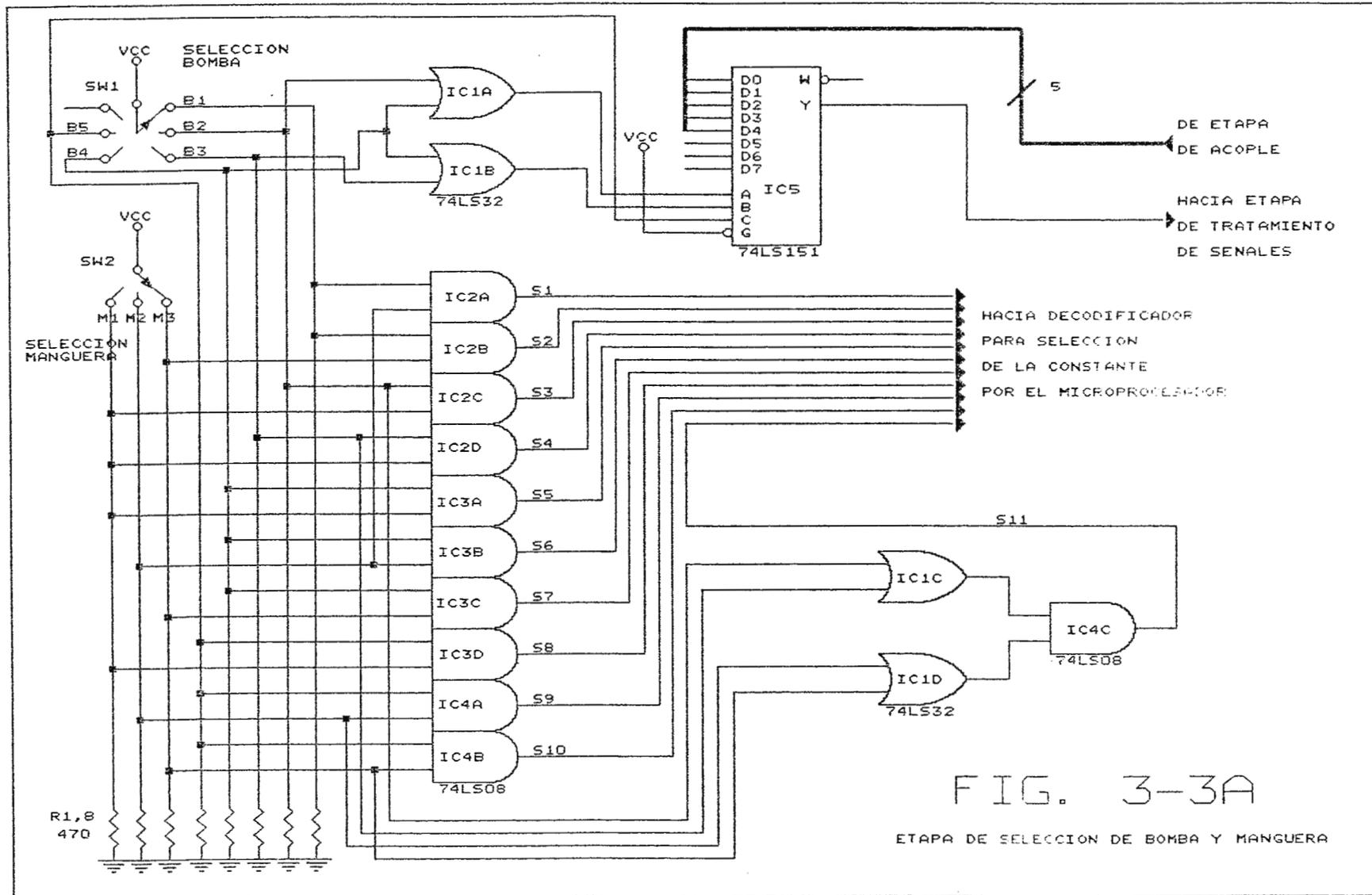
La selección de bomba está diseñada de tal manera que cada bomba esté representada por un número binario del cero al cuatro (ver TABLA 3-1), y de esta forma a través de las entradas de selección del multiplexor escoger que bomba transmitirá la señal a ser tratada (ver FIG. 3-3A).

La selección de manguera se realiza a través de un interruptor de tres posiciones, el cual determina que manguera está en uso. Se ha denominado M1 para la manguera de 1/4" x 1/16", M2 para la manguera de 3/8" x 1/8", y M3 para la manguera de 3/8" x 1/16".

Utilizando ambas selecciones y un arreglo de compuertas 74LS08 (AND), puede establecerse un sistema que permita identificar la combinación de manguera y bomba seleccionada, y de esta manera escoger las constantes a y b pertenecientes a estas selecciones. El arreglo de compuertas AND habilita una sola salida para cada selección, esto es, solo una salida estará en un nivel lógico alto (5V) y las restantes en un nivel lógico bajo (0V). Es de hacer notar que para las bombas 2 y 3, se utiliza un solo diámetro de manguera (M1), siendo los otros diámetros, selecciones no válidas; esto origina la necesidad de desarrollar un sistema que proporcione una señal correspondiente a estas combinaciones incorrectas, lo cual se logra utilizando un arreglo de compuertas 74LS32 (OR) conectadas a una compuerta AND, que origina un código que permite al sistema microprocesado generar una señal de error.

B1	B2	B3	B4	B5	C	B	A
1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	0	0	1	1	0	0
X	X	X	X	X	X	X	X

TABLA 3-1. Codificación de las Entradas Selectoras del Multiplexor.



Como resultado se obtienen doce salidas que establecen estas combinaciones, las cuales resultan difíciles de manejar por el microprocesador. Se hace necesario entonces, construir un codificador de estas doce salidas para reducirlas a tan solo cuatro que pasaran directamente al bus de datos del microprocesador (ver TABLA 3-2 y FIGURA 3-3B).

### 3.3.4. ETAPA DE MUESTREO

#### 3.3.4.1. BASE DE TIEMPO

A la salida del multiplexor se obtiene un tren de pulsos idéntico al proporcionado por la bomba de interés (tiene el mismo voltaje y la misma frecuencia). La frecuencia de este tren de pulsos, que es directamente proporcional a la velocidad de giro, debe ser cuantificada de tal manera que pueda ser obtenido un número binario que la represente.

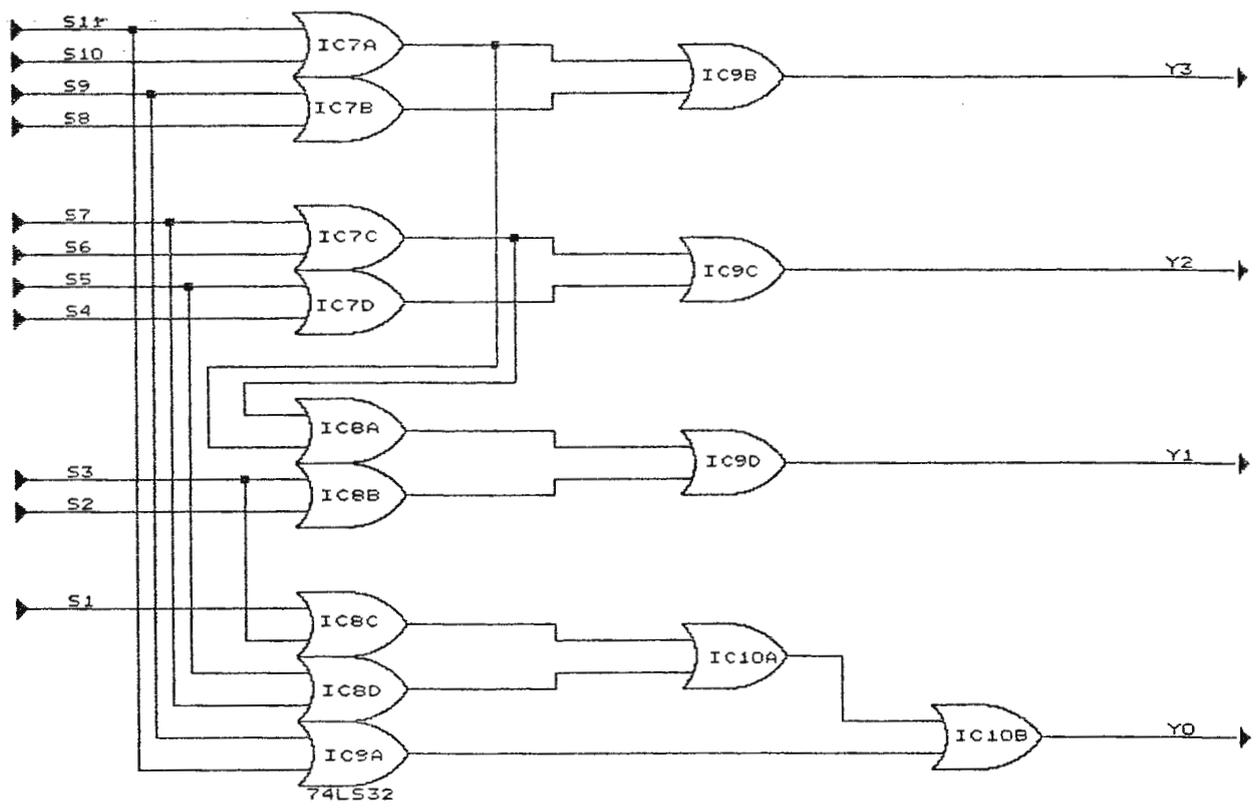
Para elaborar esta cuantificación es necesario introducir a las entradas de una compuerta AND, el tren de pulsos, y una base de tiempo tal, que permita determinar el número de pulsos generados por segundo. Esta base de tiempo debe ser entonces, un segundo en un valor de uno lógico (período de muestreo) y de 0.3 segundos en un valor de cero lógico. El período de cero lógico es necesario para permitir la realización de todo el proceso involucrado para presentar la salida de flujo en un arreglo de displays de siete segmentos antes de tomar una nueva lectura de la bomba.

La utilización directa del tren de pulsos no es posible debido a que para bajas frecuencias (períodos de uno lógico relativamente largos) cabe la posibilidad de obtener a la salida de la AND

	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	Y3	Y2	Y1	Y0
B1M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
B1M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
B1M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
B2M1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
B3M1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
B4M1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
B4M2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
B4M3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
B5M1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
B5M2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
B5M3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
ERROR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

TABLA 3-2. Codificación de Salidas de Selección.

DETERMINACION Y DISEÑO DE UN CODIFICADOR DE SELECCION



DETERMINACION Y DISEÑO DE UN CODIFICADOR DE SELECCION

FIG. 3-3B

ETAPA DE SELECCION. CODIFICADOR

lecturas erróneas debidas a la falta de sincronización entre ambas señales. Para evitar este error, se emplea un circuito monoestable excitado por el tren de pulsos, con lo cual se disminuye el período de uno lógico a 0.11 mS, obteniéndose de esta manera por cada ciclo, pequeños pulsos que pasarán a la etapa de conteo que se excita con transiciones negativas (paso de uno a cero lógico).

En esta etapa se usaran dos circuitos integrados NE555, que son dispositivos temporizadores de precisión que pueden operar como circuitos astables o monoestables.

El circuito monoestable responde a transiciones negativas del tren de pulsos y produce a la salida un pulso de duración determinada por la conexión externa de un capacitor (C) entre la entrada de umbral (THR) y tierra, y una resistencia (RA) entre el voltaje de entrada y el pin de descarga (DIS) que se encuentra cortocircuitado al pin de umbral (THR). El tiempo de duración del pulso esta determinado por:

$$t_w = 1.1 R_A C$$

Para un capacitor C de 0.01  $\mu$ F y una resistencia RA de 10 K $\Omega$  se obtiene una duración del pulso de 0.11 mS (ver IC13 de la FIGURA 3-4).

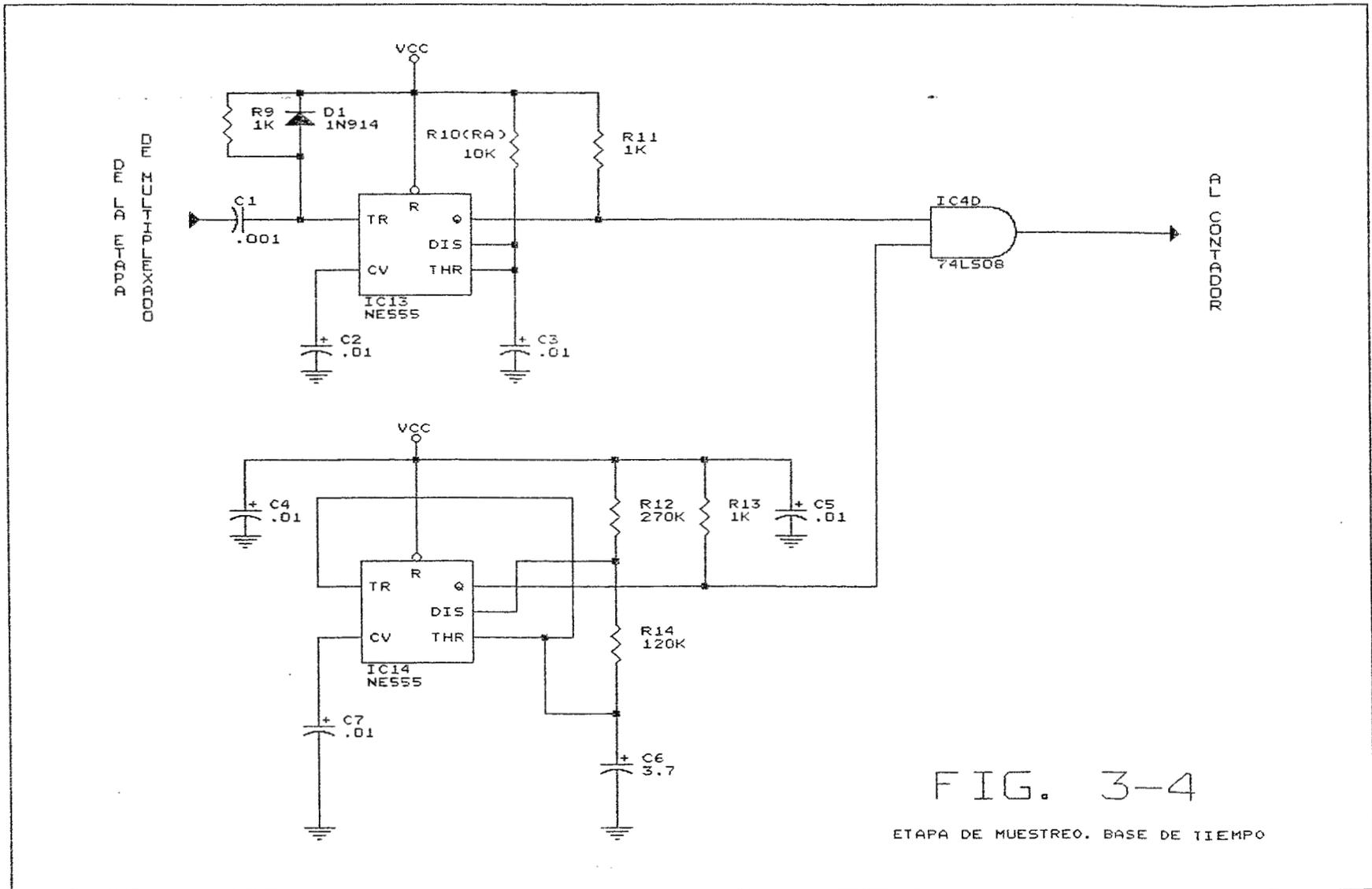


FIG. 3-4

ETAPA DE MUESTREO. BASE DE TIEMPO

La operación astable proporciona un pulso cuyo ciclo de trabajo puede ser ajustado mediante la conexión de las resistencias  $R_A$  y  $R_B$ , y el capacitor  $C$ ; de tal forma que los tiempos en uno y cero lógico sean diferentes. La resistencia  $R_A$  esta conectada entre el voltaje de alimentación y el pin de descarga (DIS); la resistencia  $R_B$  esta conectada entre el pin de descarga (DIS) y el pin de disparo (TR) que está cortocircuitado al pin de umbral (THR); el capacitor  $C$  está conectado entre el pin de disparo (TR) y tierra (GND). Los tiempos en alto y bajo están determinados por:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

Previamente se estableció la necesidad de tener un tiempo en alto de un segundo y un tiempo en bajo de 0.3 segundos, considerando la utilización de un capacitor  $C$  de  $3.7 \mu\text{F}$ , al emplear las ecuaciones anteriores obtenemos un valor de  $R_A = 270\text{K}\Omega$  y  $R_B = 120\text{K}\Omega$  (ver IC14 de FIGURA 3-4).

#### 3.3.4.2. CONTADOR DE PULSOS

Los pulsos obtenidos en la etapa anterior, permiten obtener un número binario equivalente a la frecuencia mediante el uso de un contador binario.

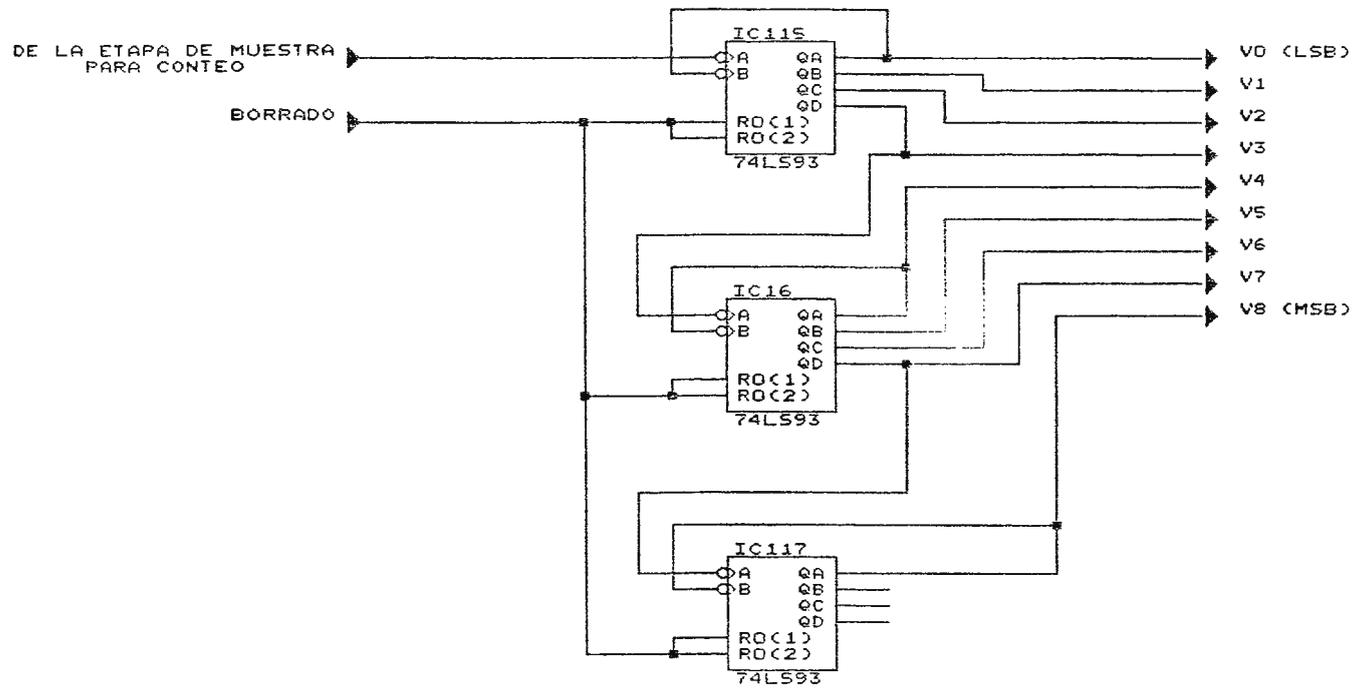
La etapa de conteo esta formada por tres contadores 74LS93 de cuatro bits (conteo binario de 0 a 15), conectados en cascada para obtener una salida de nueve bits (que van al bus de datos del microprocesador), necesarios para obtener el valor máximo de frecuencia esperado que es de 300 Hz. El arreglo en cascada de estos dispositivos consiste en la simple conexión de la salida más significativa de uno a la entrada de reloj del siguiente. Las entradas de restablecimiento RO(1) y RO(2) están conectadas a un habilitador proveniente del microprocesador que pone a cero al contador cada vez que se realice una nueva lectura de datos (ver FIGURA 3-5).

### 3.3.5. ETAPA DE TRATAMIENTO DE SEÑALES

El número binario obtenido en la etapa anterior (valor de la frecuencia del tren de pulsos), debe ser transformado en otro número binario que represente el flujo entregado. Esta modificación de la señal se logra a través de la multiplicación de una constante  $b$  y la suma a este resultado de una constante  $a$ . Estas operaciones son realizadas por un microprocesador.

La transformación de la señal requiere de la frecuente realización del siguiente proceso:

- a) El microprocesador obtiene una lectura del valor binario de la frecuencia a través del adaptador de interface de periférico (PIA). Este número requiere de dos lecturas debido a que el número de bits involucrado (9 bits) es mayor que el bus de datos del microprocesador (8 bits).



A  
L  
S  
B  
S  
E  
C  
O  
N  
D  
A  
R  
I  
O  
S  
D  
E  
L  
M  
H  
O  
D  
O  
D  
E  
R  
O  
D  
E  
R

FIG. 3-5

ETAPA DE MUESTREO. CONTADOR.

- b) Estas dos lecturas son llevadas a una localidad de memoria RAM preestablecida.
- c) El microprocesador obtiene una lectura del número binario procedente de la etapa de selección de bomba y manguera mediante el uso del PIA.
- d) El número binario procedente de la etapa de selección de bomba y manguera indica al microprocesador la dirección de la memoria ROM en la cual se encuentra el valor binario de las constantes *a* y *b*.
- e) Estos valores constantes son almacenados en localidades de memoria RAM definidas para su posterior utilización.
- f) Se realizan una serie de sumas vía programación de las localidades de memoria RAM donde están almacenados los valores de frecuencia y de la constante *b*, para obtener como resultado el producto de ambos. Este resultado es almacenado en otra localidad de memoria RAM.
- g) A este resultado se añade la localidad de memoria RAM que contiene la constante *a*. Nuevamente esta suma se almacena en una localidad de memoria RAM.
- h) El resultado hasta ahora obtenido es la representación binaria del flujo entregado por bomba. Para hacer útil este resultado, es necesario realizar una conversión de binario a código BCD y luego a código de siete segmentos. Estas transformaciones se realizan a través del uso de una subrutina en el programa del microprocesador.

- i) El valor así obtenido está listo para ser presentado en un arreglo de displays de siete segmentos.

El microprocesador requiere para su funcionamiento adecuado de circuitos adicionales como lo son el adaptador de interface de periférico (PIA), el circuito de reloj interno, un circuito decodificador de direcciones, y memorias ROM y RAM.

#### 3.3.5.1. CONEXION DEL MICROPROCESADOR

En la FIG. 3-6A se presenta el alambrado del microprocesador 6502, del cual se obtienen los buses de datos (DB0-DB7) y de dirección (AB0-AB15). Se tienen además las señales:

\*TETA 2B a la salida de reloj FI2. Esta señal proporciona los pulsos de reloj para la interface, sincroniza la señal R/NW hacia la RAM y habilita el decodificador de direcciones.

\*R-R/NW-B proveniente de la salida R/NW. Esta señal informa a la memoria RAM el ciclo de lectura/escritura que se está realizando. Esta señal debe estar sincronizada con TETA 2B para manejar adecuadamente los datos y direcciones.

\*R/NW-B a la salida de R/NW. Esta señal determina que ciclo de lectura/escritura debe desarrollar la interface.

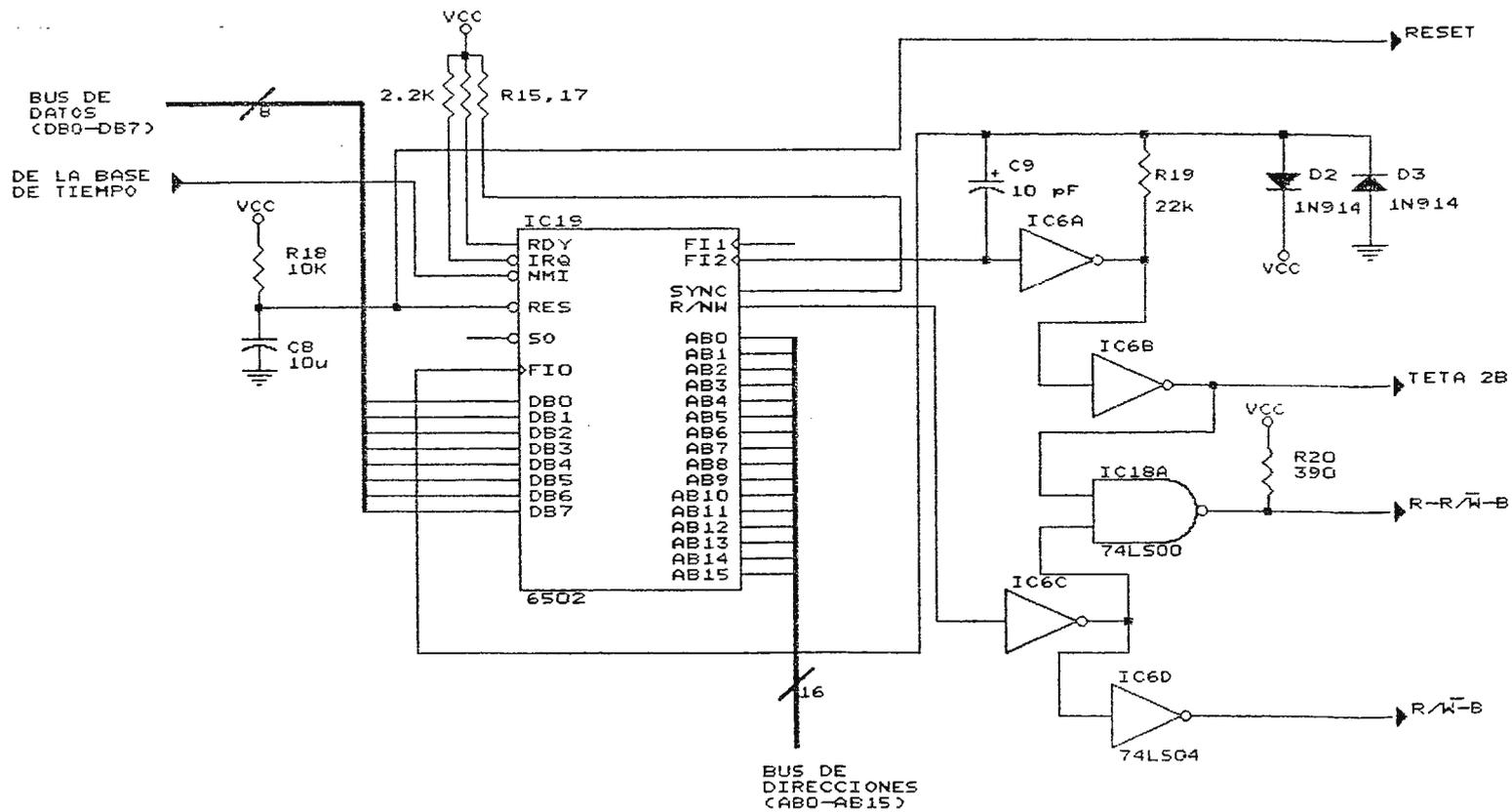


FIG. 3-6A

ETAPA DE TRATAMIENTO DE SEÑALES

MICROPROCESADOR

### 3.3.5.2. CIRCUITO DE RELOJ INTERNO

El microprocesador requiere de un circuito de reloj que genere una señal de reloj de dos fases sin asolapamiento. El microprocesador 6502 posee un circuito de reloj interno que genera esta señal. La frecuencia del generador de reloj interno es establecida mediante la conexión de un circuito externo entre los pines F10 (37) y F12 (39). Este circuito externo esta conformado por un capacitor conectado entre F10 y F12; una compuerta 74LS04 conectada a F12 y a una resistencia que esta conectada a F10. Este circuito esta protegido contra picos de voltaje por dos diodos antagónicos, el cátodo de uno esta conectado a F10 y el cátodo del otro conectado a el voltaje de alimentación (ver FIGURA 3-6A).

### 3.3.5.3. CONEXION DEL PIA

El PIA está conectado directamente al bus de datos del microprocesador (DB0-DB7), y esta controlado por las líneas de dirección ABO y AB1 conectadas directamente a RS0 y RS1 respectivamente (ver FIGURA 3-6B). Las líneas del puerto de entrada/salida A (PA0-PA7) traen los datos proveniente de la etapa de conteo (habilitadas por PB4 y PB5) y llevan a la salida de la etapa de presentación de segmentos (habilitados por PB7). La líneas del puerto de entrada/salida B (PBO-PB3) traen los datos provenientes de la etapa selección de bomba y manguera (habilitados por PB6), y llevan a la salida la selección de display en uso (habilitada por PB7).

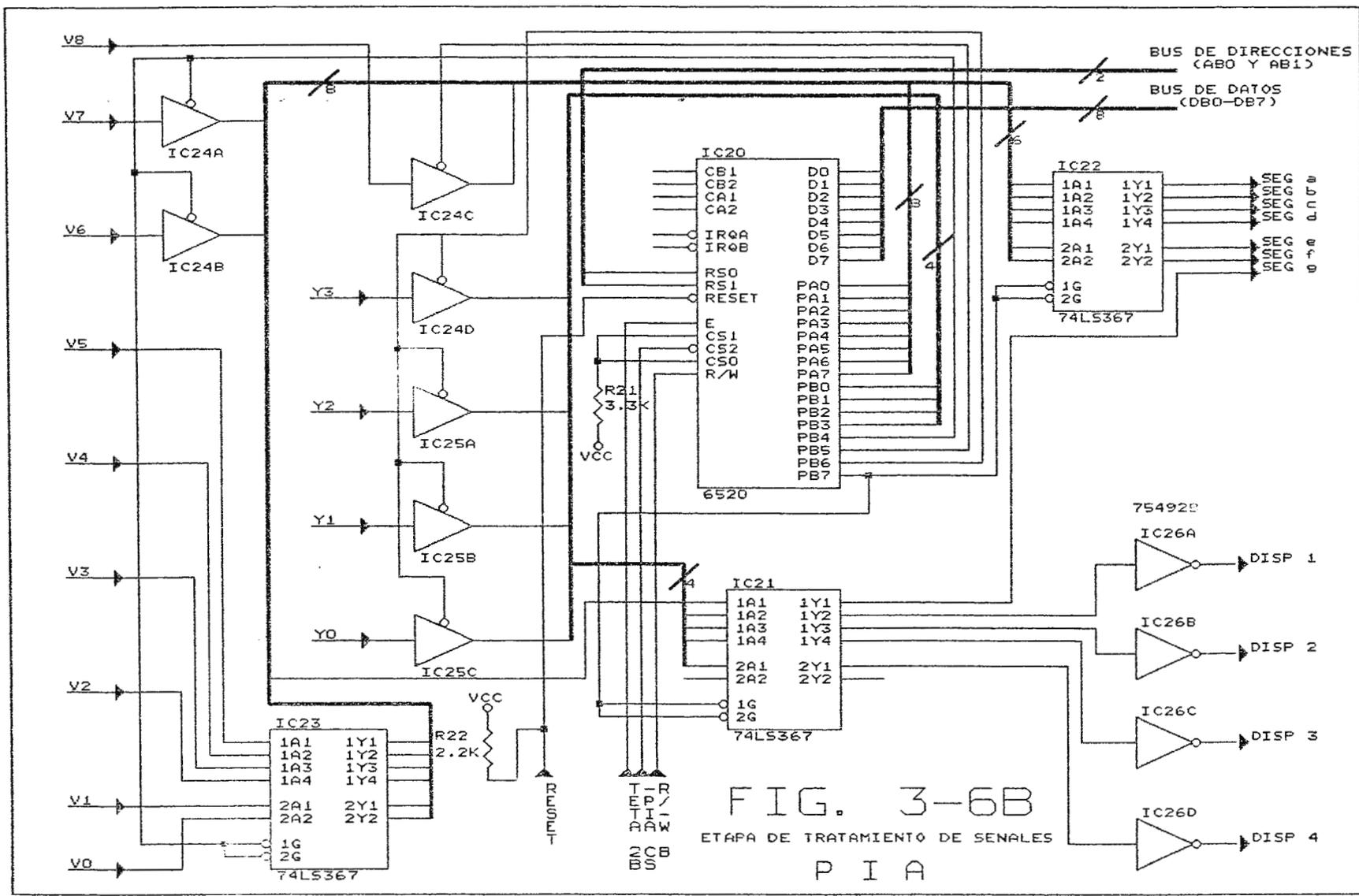


FIG. 3-6B  
 ETAPA DE TRATAMIENTO DE SEÑALES  
 P I A

El PIA esta controlado por las señales provenientes del microprocesador TETA 2B (conectada al habilitador (E) del PIA) y R/NW-B (conectada a la entrada lectura/escritura (R/NW) de la PIA); y por la señal PIA CHIP SELECT proveniente de la etapa de decodificación (conectada a la entrada chip selector 2 (CS2)).

#### 3.3.5.4. CONEXION DEL DECODIFICADOR DE DIRECCIONES

El microprocesador requiere del establecimiento de un mapa de memoria, en el cual para cada uno de los dispositivos que este maneja tiene asignado un rango de direcciones. Con este fin, se debe elaborar un decodificador de direcciones que, utilizando algunas de las líneas provenientes del bus de direcciones (o todas de acuerdo a las necesidades), se obtenga un rango específico de direcciones para cada uno de los dispositivos periféricos.

La etapa decodificadora del microprocesador en uso se realiza utilizando el 74LS156 que es un decodificador de tres a ocho líneas. Esta etapa esta diseñada para asignar rangos de direcciones al PIA, y a las memorias ROM y RAM, utilizando las líneas del bus de direcciones AB2, AB10, AB12 y AB14 (ver FIGURA 3-6C). Los rangos asignados quedan de la siguiente manera:

##### -Direcciones de Memoria ROM:

5000 - 5FFF  
7000 - 7FFF  
F000 - FFFF

\*\*\*NOTA: Todos los valores del mapa de memoria se encuentran en base hexadecimal.



-Direcciones de Memoria RAM:

0000 - 03FF  
 0800 - 0BFF  
 8000 - 83FF  
 8800 - 8BFF  
 A800 - ABFF

-Direcciones del PIA:

X400 - X403	X408 - X40B
X500 - X503	X508 - X50B
X600 - X603	X608 - X60B
X700 - X703	X708 - X70B
XC00 - XC03	XC08 - XC0B
XD00 - XD03	XD08 - XD0B
XE00 - XE03	XE08 - XE0B
XF00 - XF03	XF08 - XF0B

Donde X=0,1,2,3,8,9,A,B

De la etapa de codificación salen tres señales que habilitan a su respectivo periférico. Estas son: PIA CHIP SELECT (PIACS), ROM CHIP SELECT (ROMCS) y RAM CHIP SELECT (RAMCS). El decodificador habilita a un solo dispositivo por vez.

### 3.3.5.5. CONEXION DE MEMORIAS ROM Y RAM

En la memoria ROM se almacena el programa de inicio del microprocesador, el programa de proceso de la señal hasta su despliegue en visualizadores de siete segmentos, y los valores de las constantes a y b.

La memoria ROM a utilizar es una EPROM 2716 que tiene una capacidad de almacenamiento de 2K por 8 bits, lo cual resulta satisfactorio para las necesidades establecidas. Esta memoria esta conectada directamente al bus de direcciones (líneas ABO a AB10) y al bus de datos (DB0 a DB7) y se habilita a través de la señal ROMCS que proviene de la etapa de decodificación.

La memoria RAM necesaria para el sistema microprocesado implementado debe tener una capacidad de 1K x 8 bits como mínimo. De aquí que se necesiten dos circuitos integrados 2114 (memoria RAM de 1K x 4 bits) conectados en cascada para obtener la memoria RAM de la capacidad deseada. Las RAM se conectan directamente al bus de direcciones (líneas ABO a AB9) y al bus de datos (DO a D7); y están habilitadas por las señales RAMCS y R-R/NW-B de las etapas de decodificación y del microprocesador respectivamente (ver FIG. 3-6D).

### 3.3.6. ETAPA DE PRESENTACION

La etapa de presentación consiste en un arreglo de cuatro visualizadores (displays) de siete segmentos que son excitados por las salidas del puerto A del PIA.

Estos displays están conectados en paralelo a estas líneas (SEG a, SEG b, SEG c, SEG d, SEG e, SEG f y SEG g), siendo habilitado uno por vez por medio de las líneas DISP 1, DISP 2, DISP 3 y DISP 4, provenientes del puerto de salida B del PIA. De esta manera se asegura que un solo display sea excitado para un dato específico (ver FIGURA 3-7).

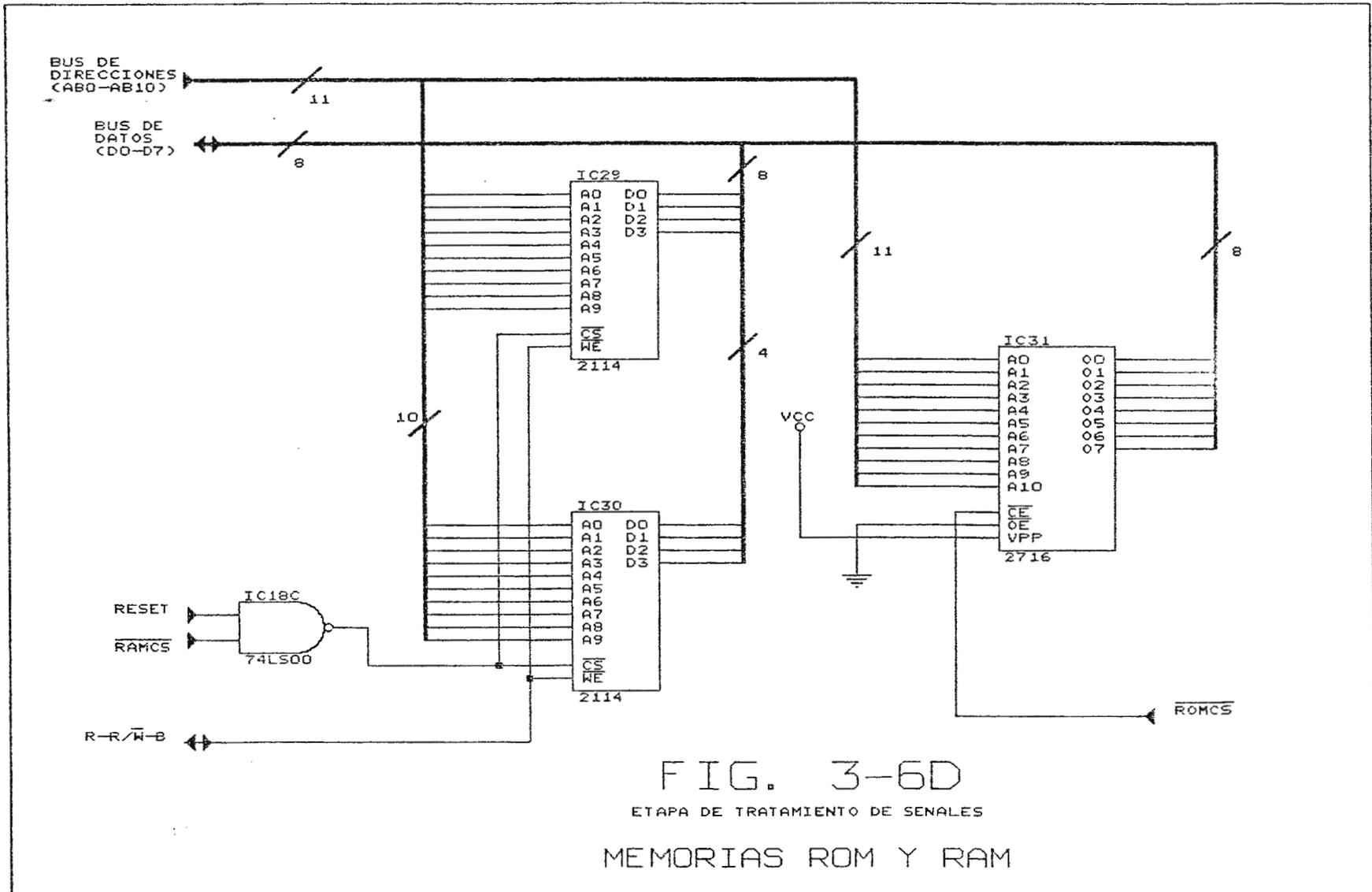


FIG. 3-6D

ETAPA DE TRATAMIENTO DE SEÑALES

MEMORIAS ROM Y RAM

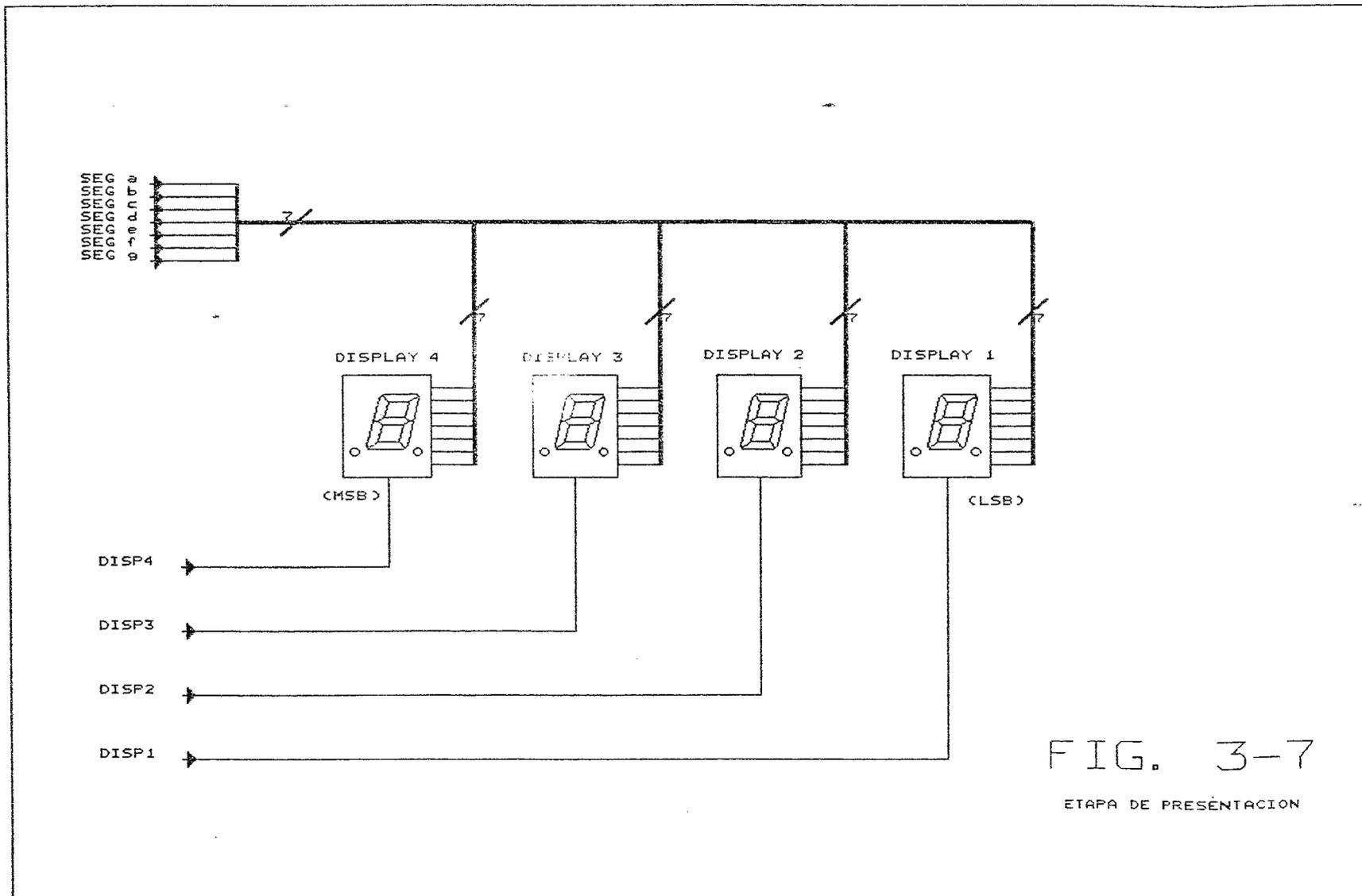


FIG. 3-7

ETAPA DE PRESENTACION

## CAPITULO IV

## 4. IMPLEMENTACION DEL MODULO AUXILIAR

## 4.1. PROGRAMACION DEL MICROPROCESADOR 6502

El sistema microprocesado que controla el desempeño del módulo auxiliar debe ser programado de manera tal que responda a las exigencias establecidas para la transformación de velocidad de giro a flujo entregado. Este programa se encuentra almacenado en la memoria EPROM 2716 (Erasable-Programmable Read Only Memory) y consiste en una serie de instrucciones y datos en lenguaje ensamblador en una secuencia lógica bien definida.

El programa del microprocesador ha sido dividido en etapas para facilitar su análisis, estas etapas son (ver ANEXO A):

- Lectura de datos;
- Selección de constantes  $a$  y  $b$ ;
- Generación de señal de error;
- Inicialización del contador;
- Multiplicación de la frecuencia (que representa la velocidad de giro de la bomba peristáltica seleccionada) y la constante  $b$ ;
- Suma algebraica de  $a$  al resultado obtenido;
- Corrección a cero;
- Conversión de código binario a código de siete segmentos;
- Presentación en visualizadores de siete segmentos.
- Vectores de interrupción.

#### 4.1.1. LECTURA DE DATOS

El microprocesador requiere de la información proveniente tanto de las bombas peristálticas de la máquina de circulación extracorpórea, para obtener la lectura de velocidad a ser transformada; como de los selectores de manguera y bomba peristáltica en uso para utilizar las constantes adecuadas, y así, desarrollar correctamente sus funciones. Además, el módulo auxiliar requiere del uso de la fuente de alimentación interna de la máquina de circulación extracorpórea, la cual debe proporcionar un voltaje de 5 V y una corriente de carga mínima de 500 mA.

La adquisición de datos se logra por medio del uso de un adaptador de interface de periféricos (PIA) que establece un nexo entre las señales externas (toda señal proveniente de un dispositivo que no forma parte del sistema microprocesado) y el microprocesador. Este adaptador de interface es configurado y controlado por el microprocesador vía programa para que efectúe ya sea lectura de datos provenientes de los periféricos, o escritura de datos a los periféricos seleccionados.

El programa configura inicialmente el PIA para que el puerto A sea un puerto de entrada, divide al puerto B en dos partes: a) el puerto de entrada B, formado por las primeras cuatro líneas (PB0, PB1, PB2, PB3); y b) el puerto de salida B formado por las cuatro líneas restantes (PB4, PB5, PB6, PB7).

El puerto de salida B es utilizado como habilitador de las compuertas de tres estados que manejan los datos de los periféricos, las cuales permiten que puedan conectarse a la

líneas el mismo puerto de entrada/salida (ver FIGURA 3-8B).

Una vez configurado el PIA, se procede a obtener una lectura de los datos provenientes de la etapa de selección (Y0, Y1, Y2, Y3) a través de las líneas PB0, PB1, PB2 y PB3 respectivamente, habilitando la línea PB6 del puerto de salida B; este dato está disponible en el acumulador para su posterior utilización (ver TABLA 4-1).

El microprocesador debe adquirir además, el valor binario de la frecuencia que representa a la velocidad de giro de la bomba persitáltica seleccionada. Este dato consta de nueve bits procedentes de la etapa de conteo. Considerando que el bus de datos del microprocesador solo maneja ocho bits, se deben efectuar dos lecturas de velocidad utilizando el puerto de entrada A. La primera lectura se logra habilitando la línea PB4, lo cual permite el paso de los primeros ocho bits del valor binario de la frecuencia al puerto de entrada A; este dato es almacenado en la localidad 0204 de memoria RAM. Para la segunda lectura se habilita la línea PB5, permitiendo que el bit más significativo del valor binario de la frecuencia sea transferido a la línea PB0 del puerto de entrada A y luego es almacenado en la posición 0203 de la memoria RAM (ver TABLA 4-2).

La lectura de la frecuencia y de la selección de bomba y manguera brindan toda la información externa necesaria para que pueda realizarse la conversión de velocidad a flujo. Estos datos son almacenados en localidades específicas del sistema microprocesado para ser utilizados cuando sea necesario.

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Inicio	F000	D8	CLD	Limpia modo decimal
	F001	A9	LDA#\$00	Acc=0
	F002	00		
	F003	8D	STA\$0401	CRA=0
	F004	01		Ajuste de puerto A
	F005	04		
	F006	8D	STA\$0400	DDRA=0
	F007	00		Puerto A: todas son entradas
	F008	04		
	F009	8D	STA\$0403	CRB=0
	F00A	03		Ajuste de puerto B
	F00B	04		
	F00C	A9	LDA#\$F0	Acc=F0
	F00D	F0		
	F00E	8D	STA\$0402	DDRB=F0
	F00F	02		Puerto B: PB3-PB0=Entradas PB7-PB4=Salidas
	F010	04		
	F011	A9	LDA#\$04	Acc=04
	F012	04		
	F013	8D	STA\$0401	CRA=04
	F014	01		Activa puerto A
	F015	04		
F016	8D	STA\$0403	CRB=04	
F017	03		Activa puerto B	
F018	04			
F019	A9	LDA#\$B0	Acc=B0	
F01A	B0			
F01B	8D	STA\$0402	ORB=B0	
F01C	02		Habilita PB6 (Se activa con cero)	
F01D	04			
Lectura	F01E	AD	LDA\$0402	Lee datos Y3-Y0 (PB3-PB0)
	F01F	02		
	F020	04		
	F021	29	AND#\$0F	Enmascara los cuatro MSB (Solo deja pasar los 4 LSB)
	F022	0F		

TABLA 4-1. Lectura de Selección  
de Bomba y Manguera

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Lecfreq	F127	8D	STA\$0401	CRA=0
	F128	01		Ajuste de puerta A
	F129	04		
	F12A	8D	STA\$0400	DDRA=00
	F12B	00		Puerto A: todas entradas
	F12C	04		
	F12D	8D	STA\$0403	CRB=0
	F12E	03		Ajuste de puerta B
	F12F	04		
	F130	A9	LDA#\$F0	Acc=F0
	F131	F0		
	F132	8D	STA\$0401	DDRB=F0
	F133	02		Puerto B: PB3-PB0=Entradas
	F134	04		PB7-PB4=Salidas
	F135	A9	LDA#\$04	Acc=04
	F136	04		
	F137	8D	STA\$0401	CRA=04
	F138	01		Activa puerto A
	F139	04		
	F13A	8D	STA\$0403	CRB=04
	F13B	03		Activa puerto B
	F13C	04		
	F13D	A9	LDA#\$E0	Acc=E0
	F13E	E0		
	F13F	8D	STA\$0402	ORB=E0
	F140	02		Habilita PB4 (se habilita con cero)
	F141	04		
	F142	AD	LDA\$0400	Acc= [0400]
	F143	00		Acc=V7-V0
	F144	04		
	F145	8D	STA\$0204	V7-V0 almacenada en
	F146	04		RAM [0204]
	F147	02		
	F148	A9	LDA#\$D0	Acc=D0
	F149	D0		
	F14A	8D	STA\$0402	ORB=D0

TABLA 4-2. Lectura de Frecuencia

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F14B	02		Habilita PB5 (se habilita
	F14C	04		con cero)
	F14D	AD	LDA#0400	Acc=[0400]
	F14E	00		Acc=x-V8
	F14F	04		
	F150	29	AND##01	Acc=0V8
	F151	01		
	F152	8D	STA#0203	V8 almacenada en
	F153	03		RAM [0203]
	F154	02		

**TABLA 4-2. Lectura de Frecuencia**  
(Continuación)

Estas lecturas serán muestreadas constantemente, reguladas por la base de tiempo ajustada a un intervalo de 1.3 segundos aproximadamente, se necesita de un tiempo en alto de un segundo para poder determinar la frecuencia de pulsos por segundo (equivalente a la velocidad de giro); y un tiempo en bajo de 0.3 segundos con lo cual se asegura que el sistema microprocesado dispondrá de suficiente tiempo para presentar el resultado. Este muestreo servirá de retroalimentación para ajustar cualquier cambio en la entrada que afecte el valor real de salida.

#### 4.1.2. SELECCION DE LAS CONSTANTES a Y b

Para cada combinación de bomba y manguera existe un juego específico de constantes a y b. El sistema microprocesado deberá entonces, reconocer que juego de constantes debe utilizar para efectuar la transformación de velocidad a flujo. Esta diferencia entre uno y otro juego de constantes es establecido por medio de un código generado por la etapa de selección de bomba y manguera

en las líneas Y0, Y1, Y2 y Y3.

Este código está disponible en el acumulador del microprocesador y se utiliza para efectuar una serie de comparaciones, hasta encontrar el código correspondiente, lo cual produce una bifurcación del programa a la sección en donde se encuentran los valores de las constantes **a** y **b** respectivas a esa combinación (ver TABLA 4-3). El valor de **b** se almacena en la localidad 0200 en RAM, y el valor de **a** será almacenado ya sea en la localidad RAM 0201 (RAMneg), si la constante es negativa, o en la localidad RAM 0202 (RAMpos) si la constante es positiva. Esta diferencia en la localidad de almacenamiento de la constante **a** obedece a la necesidad de diferenciar entre datos positivos y negativos, con el fin de efectuar adecuadamente la suma algebraica posterior (ver TABLA 4-4).

Las constantes **a** y **b** empleadas por combinación de bomba y manguera son las siguientes:

B1M1	a=-60D	b=14D	B4M2	a=45D	b=28D
B1M2,M3	a=-87D	b=28D	B4M3	a=79D	b=28D
B2M1	a=-6D	b=13D	B5M1	a=-22D	b=13D
B3M1	a=16D	b=12D	B5M2	a=12D	b=28D
B4M1	a=-28D	b=13D	B5M3	a=6D	b=29D

**TABLA 4-3. Constantes a y b para cada  
Combinación de Bomba y Manguera**

**\*NOTA:** La numeración de las bombas se realiza de izquierda a derecha. Los diámetros de las mangueras se establecen como sigue:

- M1:** 1/4" x 1/16"
- M2:** 3/8" x 1/8"
- M3:** 3/8" x 1/16"

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F023	C9	CMP#\$0B	Compara Y3-Y0 con código de error (0B)
	F024	0B		
	F025	F0	BEQ Salto 1	Si Z=0 bifurca a Salto 1
	F026	03		
	F027	4C	JMP Cont 1	Salto a Cont 1
	F028	2D		
	F029	F0		
Salto 1	F02A	4C	JMP Error	Salto a Error
	F02B	94		
	F02C	F2		
Cont 1	F02D	C9	CMP#\$00	Compara Y3-Y0 con código de B1M1 (00)
	F02E	00		
	F02F	F0	BEQ Salto 2	Si Z=0 bifurca a Salto 2
	F030	03		
	F031	4C	JMP Cont 2	Salto a Cont 2
	F032	37		
	F033	F0		
Salto 2	F034	4C	JMP a1 y b1	Salto a a1 y b1
	F035	9B		
	F036	F0		
Cont 2	F037	C9	CMP#\$01	Compara Y3-Y1 con código de B1M2 (01)
	F038	01		
	F039	F0	BEQ Salto 3	Si Z=0 bifurca a Salto 3
	F03A	03		
	F03B	4C	JMP Cont 3	Salto a Cont 3
	F03C	41		
	F03D	F0		
Salto 3	F03E	4C	JMP a2 y b2	Salto a a2 y b2
	F03F	A8		
	F040	F0		
Cont 3	F041	C9	CMP#\$02	Compara Y3-Y0 con código de B1M3 (02)
	F042	02		
	F043	F0	BEQ Salto 4	Si Z=0 bifurca a Salto 4
	F044	03		
	F045	4C	JMP Cont 3	Salto a Cont 3
	F046	4B		

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b

ETIQUETA	DIR	CUN	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F047	F0		
Salto 4	F048	4C	JMP a2 y b2	Salto a a2 y b2
	F049	A8		
	F04A	F0		
Cont 4	F04B	C9	CMP#03	Compara Y3-Y0 con código de B2M1 (03)
	F04C	03		
	F04D	F0	BEQ Salto 5	Si Z=0 bifurca a Salto 5
	F04E	03		
	F04F	4C	JMP Cont 5	Salto a Cont 5
	F050	55		
	F051	F0		
Salto 5	F052	4C	JMP a3 y b3	Salto a a3 y b3
	F053	B5		
	F054	F0		
Cont 5	F055	C9	CMP#04	Compara a Y3-Y0 con código de B3M1 (04)
	F056	04		
	F057	F0	BEQ Salto 6	Si Z=0 bifurca a Salto 6
	F058	03		
	F059	4C	JMP Cont 6	Salto a Cont 6
	F05A	5F		
	F05B	F0		
Salto 6	F05C	4C	JMP a4 y b4	Salto a a4 y b4
	F05D	C2		
	F05E	F0		
Cont 6	F05F	C9	CMP#05	Compara a Y3-Y0 con código de B4M1 (05)
	F060	05		
	F061	F0	BEQ Salto 7	Si Z=0 bifurca a Salto 7
	F062	03		
	F063	4C	JMP Cont 7	Salto a Cont 7
	F064	69		
	F065	F0		
Salto 7	F066	4C	JMP a5 y b5	Salto a a5 y b5
	F067	CF		
	F068	F0		
Cont 7	F069	C9	CMP#06	Compara a Y3-Y0 con código de B4M2 (06)
	F06A	06		

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F06B	F0	BEQ Salto 8	Si Z=0 bifurca a Salto 8
	F06C	03		
	F06D	4C	JMP Cont 8	Salto a Cont 8
	F06E	73		
	F06F	F0		
Salto 8	F070	4C	JMP a6 y b6	Salto a a6 y b6
	F071	DC		
	F072	F0		
Cont 8	F073	C9	CMP#07	Compara Y3-Y0 con código de B4M3 (07)
	F074	07		
	F075	F0	BEQ Salto 9	Si Z=0 bifurca a Salto 9
	F076	03		
	F077	4C	JMP Cont 9	Salto a Cont 9
	F078	7D		
	F079	F0		
Salto 9	F07A	4C	JMP a7 y b7	Salto a a7 y b7
	F07B	E9		
	F07C	F0		
Cont 9	F07D	C9	CMP#08	Compara Y3-Y0 con código de B5M1 (08)
	F07E	08		
	F07F	F0	BEQ Salto 10	Si Z=0 bifurca a Salto 10
	F080	03		
	F081	4C	JMP Cont 10	Salto a Cont 10
	F082	87		
	F083	F0		
Salto 10	F084	4C	JMP a8 y b8	Salto a a8 y b8
	F085	F6		
	F086	F0		
Cont 10	F087	C9	CMP#09	Compara a Y3-Y0 con código de B5M2 (09)
	F088	09		
	F089	F0	BEQ Salto 11	Si Z=0 bifurca a Salto 11
	F08A	03		
	F08B	4C	JMP Cont 11	Salto a Cont 11
	F08C	91		
	F08D	F0		
Salto 11	F08E	4C	JMP a9 y b9	Salto a a9 y b9

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F08F	03		
	F090	F1		
Cont 11	F091	C9	CMP#0A	Compara Y3-Y0 con código de B5M3 (0A)
	F092	0A		
	F093	F0	BEQ Salto 12	Si Z=0 bifurca a Salto 12
	F094	03		
	F095	4C	JMP Lectura	Salto a Lectura
	F096	1E		
	F097	F0		
Salto 12	F098	4C	JMP a10 y b10	Salto a a10 y b10
	F099	10		
	F09A	F1		
a1 y b1	F09B	A9	LDA#0E	Acc=0E
	F09C	0E		
	F09D	8D	STA#0200	b=0E (14) almacenada en RAM
	F09E	00		
	F09F	02		
	FOA0	A9	LDA#3C	Acc=3C
	FOA1	3C		
	FOA2	8D	STA#0201	a=3C (60) almacenada en RAMneg
	FOA3	01		
	FOA4	02		
	FOA5	4C	JMP ORAMpos	Salto a ORAMpos
	FOA6	22		
	FOA7	F1		
a2 y b2	FOA8	A9	LDA#1C	Acc=1C
	FOA9	1C		
	FOAA	8D	STA#0200	b=1C (28) almacenada en RAM
	FOAB	00		
	FOAC	02		
	FOAD	A9	LDA#57	Acc=57
	FOAE	57		
	FOAF	8D	STA#0201	a=57 (87) almacenada en RAMneg
	FOB0	01		
	FOB1	02		
	FOB2	4C	JMP ORAMpos	Salto a ORAMpos

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
		FOB3	22	
		FOB4	F1	
a3 y b3		FOB5	A9 LDA#\$0D	Acc=0D
		FOB6	0D	
		FOB7	8D STA\$0200	b=0D (13) almacenada en RAM
		FOB8	00	
		FOB9	02	
		FOBA	A9 LDA#\$06	Acc=06
		FOBB	06	
		FOBC	8D STA\$0201	a=06 (6) almacenada en RAMneg
		FOBD	01	
		FOBE	02	
		FOBF	4C JMP ORAMpos	Salto a ORAMpos
		FOC0	22	
		FOC1	F1	
a4 y b4		FOC2	A9 LDA#\$0C	Acc=0C
		FOC3	0C	
		FOC4	8D STA\$0200	b=0C (12) almacenada en RAM
		FOC5	00	
		FOC6	02	
		FOC7	A9 LDA#\$10	Acc=10
		FOC8	10	
		FOC9	8D STA\$0202	a=10 (16) almacenada en RAMpos
		FOCA	02	
		FOCB	02	
		FOCC	4C JMP ORAMneg	Salto a ORAMneg
		FOCD	1A	
		FOCE	F1	
a5 y b5		FOCF	A9 LDA#\$0D	Acc=0D
		FOD0	0D	
		FOD1	8D STA\$0200	b=0D (13) almacenada en RAM
		FOD2	00	
		FOD3	02	
		FOD4	A9 LDA#\$1C	Acc=1C
		FOD5	1C	
		FOD6	8D STA\$0201	a=1C (28) almacenada

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	FOD7	01		en RAM
	FOD8	02		
	FOD9	4C	JMP ORAMpos	Salto a ORAMpos
	FODA	22		
	FODB	F1		
a6 y b6	FODC	A9	LDA#\$1C	Acc=1C
	FODD	1C		
	FODE	8D	STA#0200	b=1C (28) almacenada en RAM
	FODF	00		
	FOE0	02		
	FOE1	A9	LDA#\$2D	Acc=2D
	FOE2	2D		
	FOE3	8D	STA#0202	a=2D (45) almacenada en RAMpos
	FOE4	02		
	FOE5	02		
	FOE6	4C	JMP ORAMneg	Salto a ORAMneg
	FOE7	1A		
	FOE8	F1		
a7 y b7	FOE9	A9	LDA#\$1C	Acc=1C
	FOEA	1C		
	FOEB	8D	STA#0200	b=1C (28) almacenada en RAM
	FOEC	00		
	FOED	02		
	FOEE	A9	LDA#\$4F	Acc=4F
	FOEF	4F		
	FOF0	8D	STA#0202	a=4F (79) almacenada en RAMpos
	FOF1	02		
	FOF2	02		
	FOF3	4C	JMP ORAMneg	Salto a ORAMneg
	FOF4	1A		
	FOF5	F1		
a8 y b8	FOF6	A9	LDA#\$0D	Acc=0D
	FOF7	0D		
	FOF8	8D	STA#0200	b=0D (13) almacenada en RAM
	FOF9	00		
	FOFA	02		

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F0FB	A9	LDA##16	Acc=16
	F0FC	16		
	F0FD	8D	STA\$0201	a=16 (22) almacenada en RAMneg
	F0FE	01		
	F0FF	02		
	F100	4C	JMP ORAMpos	Salto a ORAMpos
	F101	22		
	F102	F1		
a9 y b9	F103	A9	LDA##1C	Acc=1C
	F104	1C		
	F105	8D	STA\$0200	b=1C (28) almacenada en RAM
	F106	00		
	F107	02		
	F108	A9	LDA##0C	Acc=0C
	F109	0C		
	F10A	8D	STA\$0202	a=0C (12) almacenada en RAMpos
	F10B	02		
	F10C	02		
	F10D	4C	JMP ORAMneg	Salto a ORAMneg
	F10E	1A		
	F10F	F1		
a10 y b10	F110	A9	LDA##1D	Acc=1D
	F111	1D		
	F112	8D	STA\$0200	b=1D (29) almacenada en RAM
	F113	00		
	F114	02		
	F115	A9	LDA##06	Acc=06
	F116	06		
	F117	8D	STA\$0202	a=06 (6) almacenada en RAMpos
	F118	02		
	F119	02		
ORAMneg	F11A	A9	LDA##00	Acc=00
	F11B	00		
	F11C	8D	STA\$0201	RAMneg=00
	F11D	01		
	F11E	02		

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F11F	4C	JMP Lecfreq	Salto a Lecfreq
	F120	27		
	F121	F1		
ORAMpos	F122	A9	LDA#\$00	Acc=00
	F123	00		
	F124	8D	STA\$0202	RAMpos=00
	F125	02		
	F126	02		

TABLA 4-4. Selección de Constantes a Y b  
(Continuación)

#### 4.1.3. GENERADOR DE SEÑAL DE ERROR

Existe un código que representa una combinación errónea de manguera y bomba. Este código (OB) produce una bifurcación del programa hacia una sección en la cual se obliga a los visualizadores de siete segmentos a presentar el mensaje Err para las combinaciones de bomba 2 y 3, y las mangueras 2 y 3, hasta efectuar una selección adecuada (ver TABLA 4-5).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Error	F294	A9	LDA#\$00	
	F295	00		
	F296	85	STA\$C3	
	F297	C3		
	F298	A9	LDA#\$79	Presentacion de
	F299	79		
	F29A	85	STA\$C2	Mensaje de Error
	F29B	C2		
	F29C	A9	LDA#\$50	( <u>Err</u> )
	F29D	50		
	F29E	85	STA\$C1	
	F29F	C1		
	F2A0	85	STA\$C0	
	F2A1	C0		

TABLA 4-5. Generación de Error

#### 4.1.4. INICIALIZACION DEL CONTADOR

La determinación de la velocidad de giro de las bombas se realiza a través de un contador de pulsos, el cual determina el número de pulsos producidos por segundo (para el caso, frecuencia = velocidad). Para asegurar un conteo adecuado, es necesario poner a cero el contador cada vez que se realiza una nueva lectura. Esto se logra utilizando una salida específica del decodificador de direcciones (Pin 11 IC28), la cual origina un pulso que llega a los puntos de restablecimiento del contador (pines 2 y 3 de IC15 e IC16; y pin 3 de IC17). El acceso a esta dirección (4000), origina un pulso (las salidas del decodificador están niveladas en uno lógico, cuando son accedadas pasan a cero lógico) que pone a cero el conteo en espera de un nuevo dato a ser leído (ver TABLA 4-6).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F155	A2	LDX#09	
	F156	09		
Retardo	F157	8D	STA\$4000	
	F158	00		Inicializa contador al
	F159	40		poner uno en señal de
	F15A	CA	DEX	borrado
	F15B	D0	BNE Retardo	Si Z=0 bifurca a Retardo
	F15C	FA		

TABLA 4-6. Inicialización del Contador.

#### 4.1.5. MULTIPLICACION DE LA FRECUENCIA POR LA CONSTANTE b

La transformación de velocidad a flujo requiere de la multiplicación de la frecuencia por un valor constante b. El programa del sistema microprocesado hasta esta etapa dispone de el valor binario de la frecuencia, almacenado en dos localidades de memoria RAM [0203 para el MSB (V8) y 0204 para el LSB (V7-V0)]; y de las constantes a y b que corresponden a la selección de bomba y manguera (almacenadas en RAM [0200] para b, y [0201] ó [0202] para la constante a).

La multiplicación de ambos datos se desarrolla por medio de una serie de sumas y desplazamientos; se producen tantos desplazamientos como el número máximo de bits esperados en la constante b (5 bits máximo).

El MSB de la constante b pasa hacia el acarreo, mediante un desplazamiento hacia la izquierda; el acarreo determina si se realiza la suma del valor de la frecuencia y se desplaza el resultado hacia la izquierda (acarreo=1), o si solamente se desplaza el resultado anterior hacia la izquierda (acarreo=0). Finalizados los cinco desplazamientos de la constante b, se obtiene el resultado de la multiplicación en las localidades RAM [0230] para el byte menos significativo del producto (LSBP), y en [0231] para el byte más significativo del producto (ver TABLA 4-7).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Multip	F15D	A2	LDX#05	
	F15E	05		
	F15F	D8	CLD	
	F160	AD	LDA\$0200	Acc=cte b
	F161	00		
	F162	02		
	F163	0A	ASL A	Desplaza tres veces b y
	F164	0A	ASL A	almacena en RAM [0232]
	F165	0A	ASL A	
	F166	8D	STA\$0232	
	F167	32		
	F168	02		
	F169	A9	LDA#00	Acc=0
	F16A	00		
	F16B	8D	STA\$0230	Pone cero en [0230]
	F16C	30		LSBP
	F16D	02		
	F16E	8D	STA\$0231	Pone cero en [0231]
	F16F	31		MSBP
	Repetic	F170	02	
F171		0A	ASL A	MSB Acc->C
F172		8D	STA\$0230	Acc->[0230]
F173		30		
F174		02		
F175		2E	ROL\$0231	C->[0231]
F176		31		
F177		02		
F178		0E	ASL\$0232	MSB b->C
F179		32		
F17A		02		
F17B		90	BCC Desp	Si C=0 bifurca a Desp
F17C		10		
F17D		18	CLC	C=0
F17E		6D	ADC\$0204	Acc=Acc+V7-V0
F17F		04		
F180		02		

TABLA 4-7. Multiplicación de la Frecuencia por la Constante b.

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F181	8D	STA#0230	Almacena LSBP
	F182	30		
	F183	02		
	F184	AD	LDA#0231	Acc=MSBP
	F185	31		
	F186	02		
	F187	6D	ADC#0203	Acc=Acc+V8
	F188	03		
	F189	02		
	F18A	8D	STA#0231	Almacena MSBP
	F18B	31		
	F18C	02		
Desp	F18D	AD	LDA#	Acc->[0230]
	F18E	30		
	F18F	02		
	F190	CA	DEX	
	F191	D0	BNE Sal	Si Z=1 bifurca a Sal
	F192	03		
	F193	4C	JMP Sumador	Salto a Sumador
	F194	99		
	F195	F1		
Sal	F196	4C	JMP Repetic	Salto a Repetic
	F197	71		
	F198	F1		

**TABLA 4-7. Multiplicación de la Frecuencia  
por la Constante b (Continuación).**

#### 4.1.6. SUMA ALGEBRAICA DE LA CONSTANTE a AL RESULTADO DE MULTIPLICAR LA FRECUENCIA POR LA CONSTANTE b

El resultado obtenido de la multiplicación debe ser sumado algebraicamente al valor de una constante a para completar el procedimiento matemático que permite llevar la velocidad de giro a un valor respectivo de flujo.

Al igual que la constante b, esta constante a es propia de cada combinación de bomba y manguera, y puede ser positiva o negativa (ver TABLA 4-3). El signo de la constante provocará una bifurcación en el programa para sumar la constante (si es positiva), o para restarla del resultado obtenido en la multiplicación (si es negativa). La diferencia del signo se estableció mediante el almacenamiento en localidades distintas de RAM ([0201] para valores negativos de a; y [0202] para valores positivos de a). La suma algebraica requiere que una de estas dos localidades de memoria contenga el valor de cero, esto se logrará mediante un paso de programación en el cual se pone a cero la localidad de memoria no utilizada. El resultado de la suma se almacena en dos nuevas localidades de memoria RAM que contienen el valor binario de flujo equivalente a la velocidad de operación de la bomba; estas localidades son: a) [0240] para el byte menos significativo de la suma (LSBS); y b) [0241] para el byte más significativo de la suma (MSBS) (ver TABLA 4-8).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES	
Sumador	F199	AD	LDA#0201	Acc->[0201]	
	F19A	01			
	F19B	02			
	F19C	C9	CMP#00		
	F19D	00			
	F19E	F0	BEQ Suma	Si z=0 bifurca a Suma	
	F19F	16			
	F1A0	D8	CLD		
	F1A1	38	SEC		
	F1A2	A0	LDY#02		
	F1A3	02			
	F1A4	A2	LDX#00		
	F1A5	00			
	Sub	F1A6	BD	LDA#0230,x	
		F1A7	30		
F1A8		02			
F1A9		FD	SBC#0201,x		
F1AA		01			
F1AB		02			
F1AC		9D	STA#0240,x	Almacena resultado	
F1AD		40		de Suma [0240]->LSBS	
F1AE		02		[0241]->MSBS	
F1AF		E8	INX		
F1B0		88	DEY		
F1B1		D0	BNE Sub	Si Z=0 bifurca a Sub	
F1B2		F3			
F1B3		4C	JMP Correc	Salto a correc	
F1B4		12		Si es negativo	
F1B5	F3		presente ceros		
Suma	F1B6	D8	CLD		
	F1B7	18	CLC		
	F1B8	A0	LDY#02		
	F1B9	02			
	F1BA	A2	LDX#00	Ajuste de memorias	
	F1BB	00		para suma	
	F1BC	AD	LDA#0202		

TABLA 4-8. Suma Algebraica de la Constante a.

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F1BD	02		
	F1BE	02		
	F1BF	8D	STA#0201	
	F1C0	01		
	F1C1	02		
	F1C2	A9	LDA##00	
	F1C3	00		
	F1C4	8D	STA#0202	
	F1C5	02		
Add	F1C6	02		
	F1C7	BD	LDA#0230,X	
	F1C8	30		
	F1C9	02		
	F1CA	7D	ADC#0201,X	
	F1CB	01		
	F1CC	02		
	F1CD	9D	STA#0240,X	Almacena resultado
	F1CE	40		de suma [0240]->LSBS
	F1CF	02		[0241]->MSBS
	F1D0	E8	INX	
	F1D1	88	DEY	
	F1D2	D0	BNE Add	
	F1D3	F3		

TABLA 4-8. Suma Algebraica de la Constante a (Continuación).

## 4.1.7. CORRECCION A CERO

La suma algebraica de la constante  $a$  produce una salida de flujo irreal cuando las bombas aeristálticas no están girando (frecuencia cero). El sistema microprocesado deberá reconocer esta situación y provocar que el juego de visualizadores exciba una salida igual a cero (ver TABLA 4-9).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Correc	F312	30	BMI Cero	
	F313	03		
	F314	4C	JMP ConHEXBCD	
	F315	D4		
	F316	F1		
Cero	F317	A9	LDA#00	
	F318	00		Puesta a cero
	F319	8D	STA#0240	
	F31A	40		de Displays
	F31B	02		
	F31C	8D	STA#0241	
	F31D	41		
	F31E	02		
	F31F	4C	JMP ConHEXBCD	
	F320	D4		
	F321	F1		

TABLA 4-9. Corrección Cero.

#### 4.1.8. CONVERSION DE CODIGO BINARIO A CODIGO DE SIETE SEGMENTOS

El valor de flujo determinado a partir de la velocidad de giro de las bombas peristálticas deberá ser convertido a código de siete segmentos para poder visualizar inteligiblemente el resultado.

La conversión de un número binario a código de siete segmentos en realidad involucra dos conversiones: a) De binario (hexadecimal) a código BCD ; y b) De BCD a código de siete segmentos.

a) **Conversión binario-BCD:** el código BCD es una representación decimal de un número binario. Es entonces, necesario como paso previo, transformar el número binario (hexadecimal) a BCD para poder representarlo con un visualizador. Esta transformación se lleva a cabo mediante la suma de el valor constante de 05 cuando el número binario sea mayor a nueve, y debe ser repetido para cada combinación de cuatro bits (considerando que el código binario del flujo consta de catorce bits, es necesario realizar cuatro conversiones de binario a BCD). Se obtienen, entonces, dos localidades de memoria RAM en las cuales están almacenados los valores BCD del valor del flujo (0250 [LSBCD(byte menos significativo BCD)] y 0251 [MSBCD(byte más significativo BCD)]) (ver TABLA 4-10A).

b) **Conversión BCD-Siete Segmentos:** una vez convertido el flujo de binario a BCD, se dispone de un dato que puede presentarse en forma decimal. La representación de este dato se realiza a través de un juego de cuatro visualizadores de siete segmentos, los cuales poseen su propio código para representar cualquier número que se desee. La conversión de BCD a siete segmentos involucra

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES	
ConHEXBCD	F1D4	A9	LDA##10		
	F1D5	10			
	F1D6	8D	STA\$0245		
	F1D7	45			
	F1D8	02			
	F1D9	A9	LDA##00		
	F1DA	00			
	F1DB	8D	STA\$0250		
	F1DC	50			
	F1DD	02			
	F1DE	8D	STA\$0251		
	F1DF	51			
	F1E0	02			
	Convert	F1E1	AD	LDA\$0250	
F1E2		50			
F1E3		02			
F1E4		29	AND##0F		
F1E5		0F			
F1E6		C9	CMP##05		
F1E7		05			
F1E8		30	BMI Temp 1	Conversión de	
F1E9		03			
F1EA		18	CLC	Binario (hexadecimal)	
F1EB		69	ADC##03		
F1EC		03		a código BCD	
Temp 1		F1ED	8D	STA\$0250	
		F1EE	52		
	F1EF	02			
	F1F0	AD	LDA\$0250		
	F1F1	50			
	F1F2	02			
	F1F3	29	AND##0F		
	F1F4	F0			
	F1F5	C9	CMP##50		
	F1F6	50			
	F1F7	30	BMI Temp 2		

TABLA 4-10A. Conversión de Binario a BCD

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F1F8	03		
	F1F9	18	CLC	
	F1FA	69	ADC#30	
	F1FB	30		
Temp 2	F1FC	0D	ORA0252	
	F1FD	52		
	F1FE	02		
	F1FF	8D	STA0250	
	F200	50		
	F201	02		
	F202	AD	LDA0251	
	F203	51		
	F204	02		
	F205	29	AND#0F	
	F206	0F		
	F207	C9	CMP#05	
	F208	05		
	F209	30	BMI Temp 3	
	F20A	03		
	F20B	18	CLC	
	F20C	69	ADC#03	
	F20D	03		
Temp 3	F20E	8D	STA0252	
	F20F	52		
	F210	02		
	F211	AD	LDA0251	
	F212	51		
	F213	02		
	F214	29	AND#F0	
	F215	F0		
	F216	C9	CMP#50	
	F217	50		
	F218	30	BMI Temp 4	
	F219	03		
	F21A	18	CLC	
	F21B	69	ADC#30	

TABLA 4-10A. Conversión de Binario a BCD  
(Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F21C	30		
Temp 4	F21D	0D	ORA#0252	
	F21E	52		
	F21F	02		
	F220	8D	STA#0251	
	F221	51		
	F222	02		
	F223	0E	ASL#0240	
	F224	40		
	F225	02		
	F226	2E	ROL#0241	
	F227	41		
	F228	02		
	F229	2E	ROL#0250	
	F22A	50		
	F22B	02		
	F22C	2E	ROL#0251	
	F22D	51		
	F22E	02		
	F22F	CE	DEC#0245	
	F230	45		
	F231	02		
	F232	D0	BNE Ret	
	F233	03		
	F234	4C	JMP ConBCD7S	
	F235	3A		
	F236	F2		
Ret	F237	4C	JMP Convert	
	F238	E1		
	F239	F1		

TABLA 4-10A. Conversión de Binario a BCD  
(Continuación)

una separación de cuatro bits de cada una de las localidades que contienen la representación BCD (debe recordarse que cada localidad consta de ocho bits, la separación a realizar dará como resultado cuatro nuevas localidades que contendrán el código de siete segmentos correspondiente al dato que se desea presentar, una localidad para cada visualizador). El código de siete segmentos se almacenará en las localidades RAM 00C3 para DISP4, 00C2 para DISP3, 00C1 para DISP2, y 00C0 para DISP1 (ver TABLA 4-10B).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
ConBCD7S	F23A	AD	LDA#0250	
	F23B	50		
	F23C	02		
	F23D	29	AND#\$0F	
	F23E	0F		
	F23F	AA	TAX	
	F240	BD	LDA#F26D,X	
	F241	6D		
	F242	F2		
	F243	85	STA#C0	
	F244	C0		
	F245	AD	LDA#0250	
	F246	50		
	F247	02		
	F248	4A	LSR A	
	F249	4A	LSR A	
	F24A	4A	LSR A	
	F24B	4A	LSR A	
	F24C	AA	TAX	
	F24D	BD	LDA#F26D,X	Conversión de
	F24E	6D		
	F24F	F2		Código BCD
	F250	85	STA#C1	
	F251	C1		a Siete Segmentos

TABLA 4-10B. Conversión de BCD a Siete Segmentos

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F252	AD	LDA#0251	
	F253	51		
	F254	02		
	F255	29	AND#0F	
	F256	0F		
	F257	AA	TAX	
	F258	BD	LDA#F26D,X	
	F259	6D		
	F25A	F2		
	F25B	85	STA#C2	
	F25C	C2		
	F25D	AD	LDA#C	
	F269	C3		
	F26A	4C	JMF Present	
	F26B	A2		
	F26C	F2		
	F26D	3F		0
	F26E	06		1
	F26F	5B		2
	F270	4F		3 Códigos
	F271	66		4 de
	F272	6D		5 Siete
	F273	7D		6 Segmentos
	F274	07		7
	F275	7F		8
	F276	67		9

TABLA 4-10B. Conversión de BCD a Siete Segmentos  
(Continuación)

#### 4.1.9. PRESENTACION EN VISUALIZADORES DE SIETE SEGMENTOS

La habilitación de los cuatro visualizadores de siete segmentos está controlada por el PIA, el cual debe ser configurado de manera tal que ambos puertos sean salidas. El puerto de salida A es el encargado de excitar los segmentos adecuados para la presentación, mientras que el puerto de salida B habilita que un visualizador (display) debe presentar la información. Es de hacer notar que la información a ser presentada se encuentra conectada en paralelo a todos los visualizadores, pero únicamente presenta el dato en el visualizador correcto (solo es activado un display por vez manteniéndose el resto apagados).

La velocidad a la cual se realiza este encendido-apagado de los displays, permite obtener una salida constante para el ojo, aunque se efectúe secuencialmente la presentación (ver TABLA 4-11).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Present	F2A2	A9	LDA#\$00	
	F2A3	00		
	F2A4	8D	STA\$0401	
	F2A5	01		
	F2A6	04		
	F2A7	8D	STA\$0403	
	F2A8	03		
	F2A9	04		
	F2AA	A9	LDA#\$FF	
	F2AB	FF		Inicialización del
	F2AC	8D	STA\$0400	
	F2AD	00		PIA para etapa
	F2AE	04		
	F2AF	8D	STA\$0402	de Presentación

TABLA 4-11. Presentación en Visualizadores de Siete Segmentos

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F2B0	02		
	F2B1	04		
	F2B2	A9	LDA#\$04	
	F2B3	04		
	F2B4	8D	STA\$0401	
	F2B5	01		
	F2B6	04		
	F2B7	8D	STA\$0403	
	F2B8	03		
	F2B9	04		
	F2BA	A0	LDY#\$70	
	F2BB	70		
	F2BC	8C	STY\$0402	
	F2BD	02		
	F2BE	04		
Scan	F2BF	A9	LDA#\$00	
	F2C0	00		
	F2C1	8D	STA\$00	
	F2C2	00		
	F2C3	04		
	F2C4	A0	LDY#\$70	
	F2C5	78		Activación de
	F2C6	8C	STY\$0402	
	F2C7	02		Display 4
	F2C8	04		
	F2C9	A5	LDA\$C3	
	F2CA	C3		
	F2CB	8D	STA\$0400	
	F2CC	00		
	F2CD	04		
	F2CE	A2	LDX#\$7F	
	F2CF	7F		
Delay 1	F2D0	CA	DEX	
	F2D1	D0	BNE Delay 1	
	F2D2	FD		
	F2D3	A9	LDA#\$00	

TABLA 4-11. Presentación en Visualizadores de Siete Segmentos (Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
	F2D4	00		
	F2D5	8D	STA#0400	
	F2D6	00		
	F2D7	04		
	F2D8	A0	LDY##74	
	F2D9	74		Activación de
	F2DA	8C	STY#0402	
	F2DB	02		Display 3
	F2DC	04		
	F2DD	A5	LDA#C2	
	F2DE	C2		
	F2DF	8D	STA#0400	
	F2E0	00		
	F2E1	04		
	F2E2	A2	LDX##7F	
	F2E3	7F		
Delay 2	F2E4	CA	DEX	
	F2E5	D0	BNE Delay 2	
	F2E6	FD		
	F2E7	A9	LDA##00	
	F2E8	00		
	F2E9	8D	STA#0400	
	F2EA	00		
	F2EB	04		
	F2EC	A0	LDY##72	
	F2ED	72		Activación de
	F2EE	8C	STY#0402	
	F2EF	02		Display 2
	F2F0	04		
	F2F1	A5	LDA#C1	
	F2F2	C1		
	F2F3	8D	STA#0400	
	F2F4	00		
	F2F5	04		
	F2F6	A2	LDX##7F	
	F2F7	7F		

TABLA 4-11. Presentación en Visualizadores de Siete Segmentos (Continuación)

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
Delay 3	F2F8	CA	DEX	
	F2F9	D0	BNE Delay 3	
	F2FA	FD		
	F2FB	A9	LDA#\$00	
	F2FC	00		
	F2FD	8D	STA\$0400	
	F2FE	00		
	F2FF	04		
	F300	A0	LDY#\$71	
	F301	71		Activación de
	F302	8C	STY\$0402	
	F303	02		Display 1
	F304	04		
	F305	A5	LDA#C0	
	F306	C0		
	F307	8D	STA\$0402	
	F308	00		
	F309	04		
	F30A	A2	LDX#\$7F	
	F30B	7F		
Delay 4	F30C	CA	DEX	
	F30D	D0	BNE Delay 4	
	F30E	FD		
	F30F	4C	JMP Scan	
	F310	BF		
	F311	F2		

TABLA 4-11. Presentación en Visualizadores de Siete Segmentos (Continuación)

#### 4.1.10. VECTORES DE INTERRUPCION

Como parte integral del sistema microprocesado se utilizan dos interrupciones que regulan y determinan las funciones iniciales del módulo auxiliar; éstas interrupciones son: a) Reinicialización (RESET), y b) Interrupción no enmascarable (NMI).

a) La reinicialización es utilizada para inicializar al microprocesador 6502 cuando es conectado a la alimentación. Durante el tiempo que el pin de RESET se encuentre en un nivel lógico bajo, la operación del microprocesador se encuentra inhibida; una vez alcanzado el nivel lógico alto, el microprocesador buscará el vector de interrupción en la posición de memoria FFFC (byte menos significativo) y en FFFD (byte más significativo). El vector de interrupción almacenado en estas posiciones de memoria es la dirección de inicio del programa (ubicado en la posición [F000] de la memoria ROM).

b) La interrupción no enmascarable (NMI) responde a transiciones negativas, esto es, el paso de un nivel lógico alto a uno bajo; y es utilizada en el sistema microprocesado para obtener una nueva lectura de selección de bomba y manguera, para iniciar todo el proceso involucrado. La interrupción NMI está controlada por las transiciones negativas que se producen en la base de tiempo (a la salida del pin cinco del circuito integrado NE556). Aproximadamente cada 1.3 segundos se producirá una transición negativa en este punto, lo cual provocará la activación de la interrupción NMI, cuyo vector de interrupción se encuentra en las localidades [FFFA] para el byte menos significativo, y en [FFFB] para el byte más significativo. Al igual que en la interrupción de reinicialización, estas localidades contienen la dirección de inicio del programa ([F000] en ROM) (Ver TABLA 4-12).

ETIQUETA	DIR	CON	NEMOTECNICO	OBSERVACIONES
NMI	FFFA	00		Vector de inicio
	FFFB	F0		para NMI
RESET	FFFC	00		Vector de inicio
	FFFD	F0		para RESET

TABLA 4-12. Vectores de Interrupción.

#### 4.2 ENSAMBLE DEL MODULO AUXILIAR

El módulo auxiliar se puede describir externamente como una caja metálica que contiene en el frente dos selectores de funciones (bomba y manguera), un interruptor de encendido, y una ventana donde se puede apreciar el juego de cuatro visualizadores (ver FIGURA 4-1).

En la parte posterior del módulo auxiliar se encuentra un conector para siete entradas, el cual está directamente conectado a la máquina corazón-pulmón. Es este conector el nexo que existe entre cada una de las bombas peristálticas y el módulo auxiliar, además de proporcionar la alimentación necesaria para los circuitos internos al módulo auxiliar (ver FIGURA 4-2).

Las dimensiones del módulo auxiliar quedan como sigue:

- 20 cm de frente,
- 12 cm de alto,
- 25 cm de largo.

El módulo auxiliar es de pequeño tamaño; además, es transportable gracias a su peso ligero, y es altamente resistente a esfuerzo mecánico (ver FIGURA 4-3).

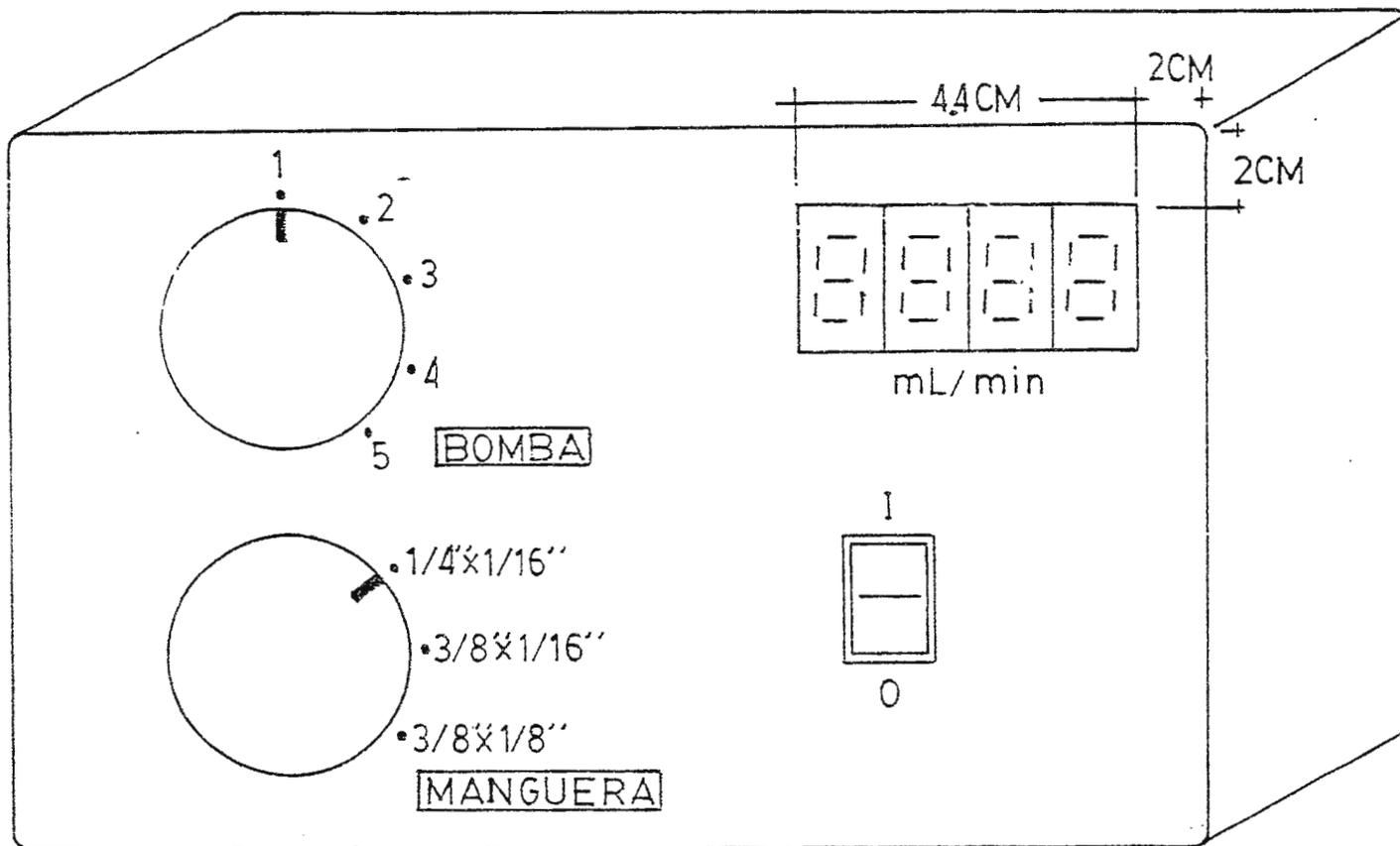


FIG.4-1 VISTA FRONTAL DEL MODULO

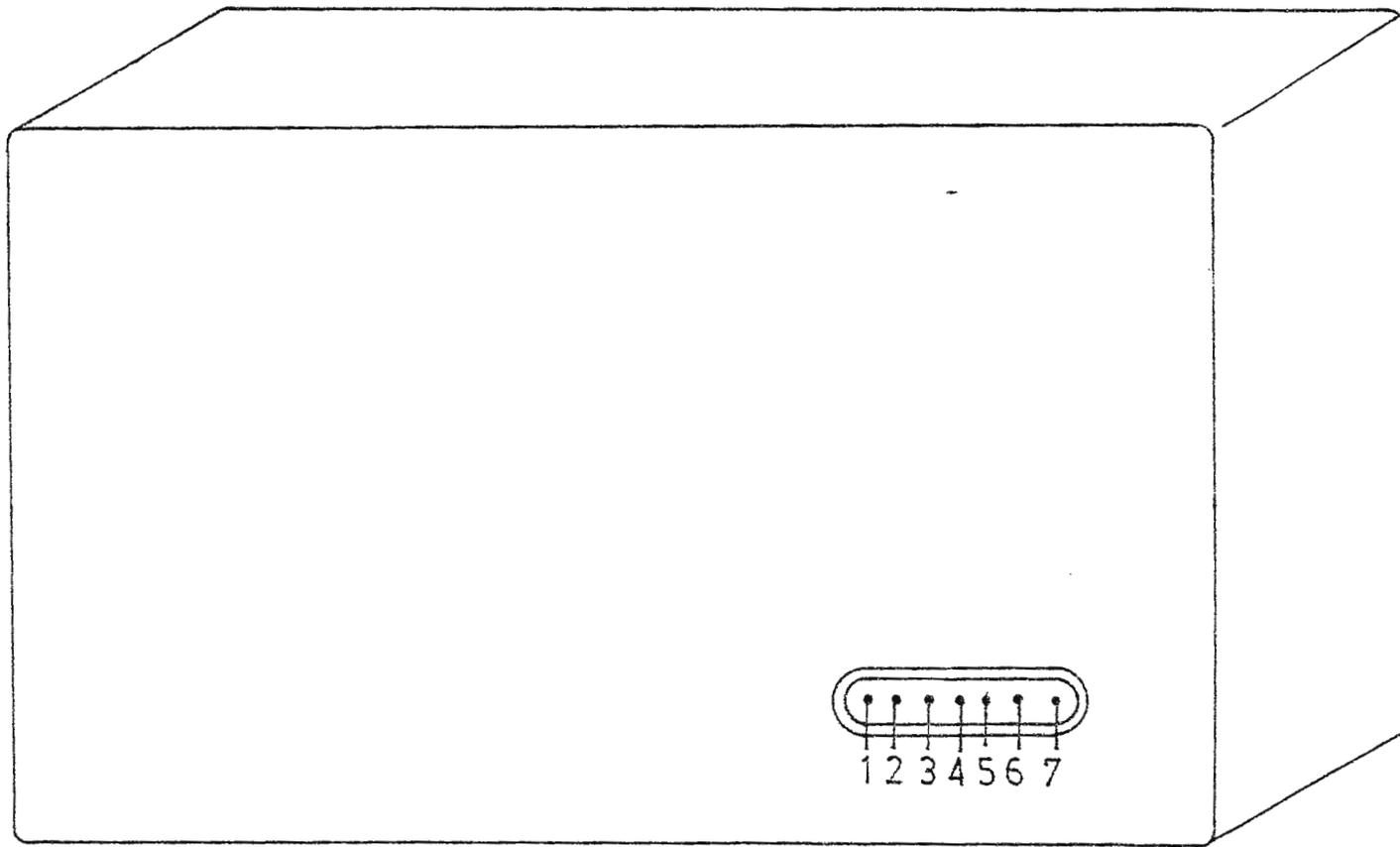


FIG.4-2 VISTA POSTERIOR DEL MODULO

- |       |      |
|-------|------|
| 1-VCC | 5-B3 |
| 2-GND | 6-B4 |
| 3-B1  | 7-B5 |
| 4-B2  |      |

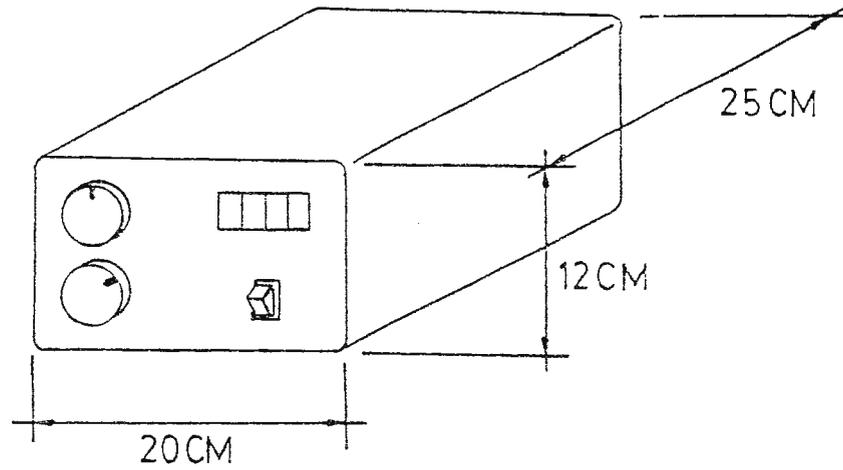


FIG4-3 DIMENSIONES DEL MODULO

#### 4.2.1 OPERACION DEL MODULO AUXILIAR

Este módulo es muy fácil de operar, únicamente se requiere de activar el interruptor de encendido; seleccionar la bomba de interés, y la manguera que se está utilizando con esta bomba, para obtener una lectura de flujo entregado proporcional a la velocidad de giro de la bomba peristáltica en estudio. Toda selección errónea provocará inmediatamente la presentación de un mensaje de error, no permitiendo que se realice ningún tipo de lectura de los datos de entrada.

#### 4.2.2. PUNTOS DE VERIFICACION DE SEÑALES

Se han considerado tres puntos de prueba relevantes dentro de la circuitería del módulo auxiliar, los cuales se describen a continuación:

a) **Punto de Prueba A:** se encuentra ubicado a la salida del multivibrador astable del circuito integrado NE556 (pin 5). Es este punto que se obtiene la base de tiempo que regula el paso de pulsos a la etapa de conteo. La señal esperada es un tren de pulsos con un periodo de aproximadamente 1.3 segundos, con un tiempo en alto de 1 segundo (ver FIGURA 4-4). Pequeñas variaciones del tiempo en alto pueden redundar en cambios significativos en la salida final de flujo.

b) **Punto de Prueba B:** ubicado a la salida de la configuración monoestable del circuito integrado NE556 (pin 9). En este punto se obtiene un tren de pulsos excitado por la señal de entrada proveniente de las bombas (la frecuencia del tren de pulsos está determinada por la velocidad de la bomba peristáltica en estudio).

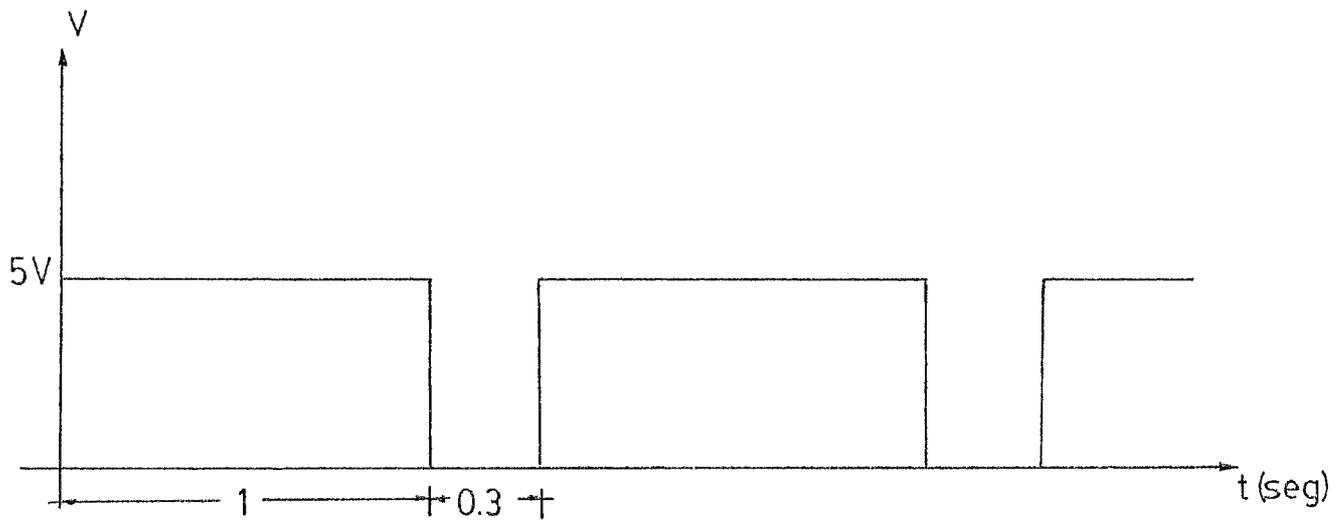


FIG.4-4 PUNTO DE PRUEBA A

Este tren de pulsos presenta un tiempo en alto muy pequeño (aproximadamente 0.11 mS), lo cual permite realizar un conteo más preciso de la velocidad a la cual está operando la bomba peristáltica en estudio (ver FIGURA 4-5).

c) **Punto de Prueba C:** este punto de prueba sirve como un parámetro de referencia para asegurar el funcionamiento de la etapa de conteo. Este punto de prueba se ubica en las salidas del circuito integrado 74LS93 (IC15 pines 8,9,11,12). La señal esperada en el pin 8 debe tener la más alta frecuencia, la cual se divide en dos para el bit de orden superior siguiente, y así sucesivamente, hasta llegar a tener en el pin 12 una frecuencia equivalente a 1/8 de la presentada en el pin 8 (ver FIGURA 4-6).

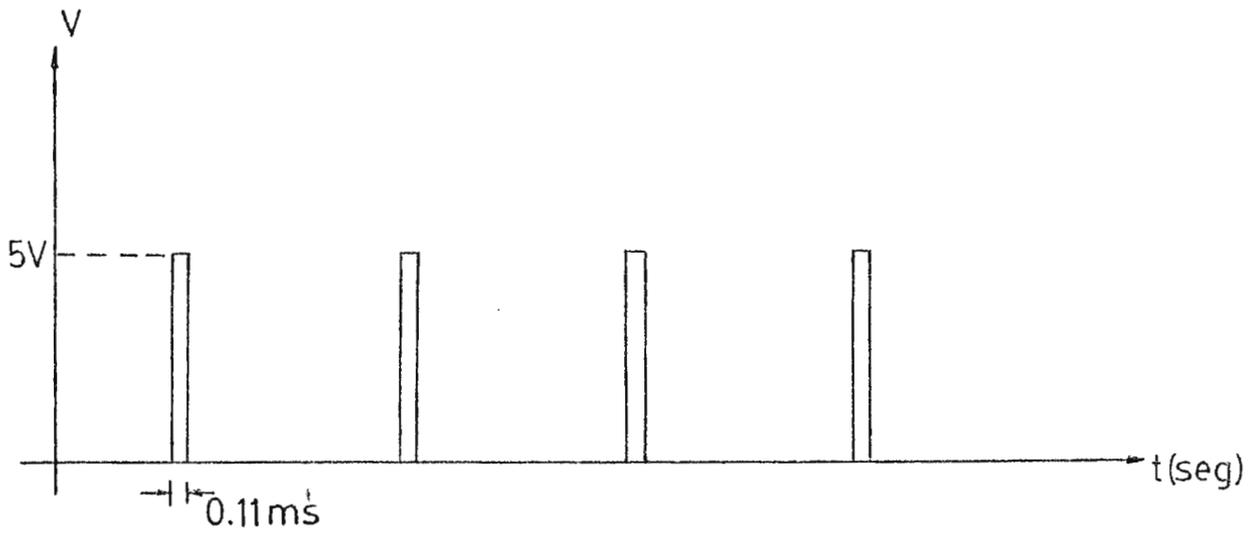


FIG 4-5 PUNTO DE PRUEBA B

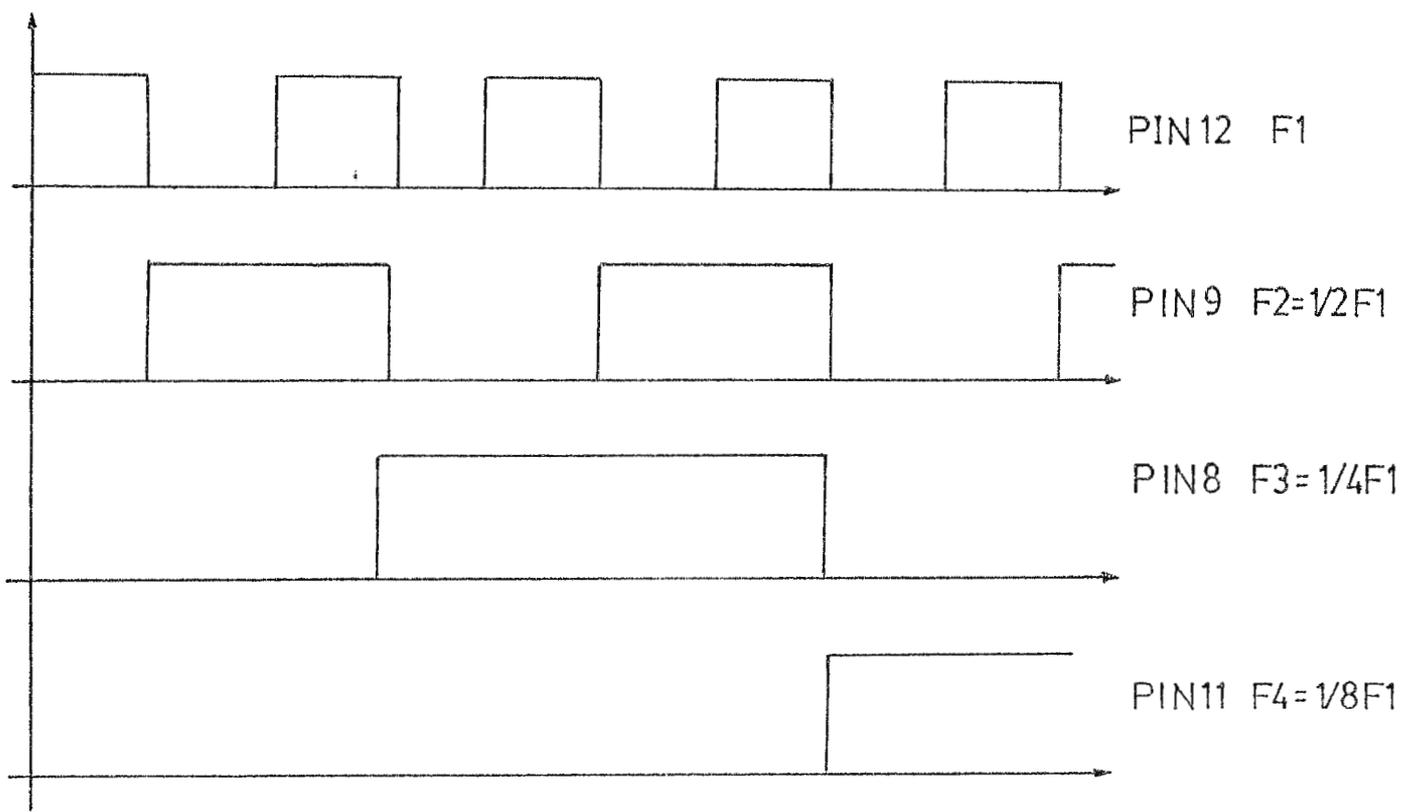


FIG.4-6 PUNTOS DE PRUEBA C

## CONCLUSIONES

-El sistema cardiovascular es el encargado de suministrar todos los elementos necesarios para el soporte de la vida de los organismos complejos.

-El corazón esta compuesto por diversas estructuras que pueden disminuir o cesar en sus funciones, así como también las venas y arterias que se encuentran a él ligados. Para asegurar el mantenimiento de la vida del paciente que presenta cualquier patología relacionada con estas, debe efectuarse una intervención quirúrgica que las corrija. Estas patologías pueden ser congénitas o adquiridas, siendo estos últimos los más comúnmente tratados en el hospital Médico Quirúrgico.

-La intervención quirúrgica del corazón o de los vasos aledaños a este, requiere la utilización de equipo de soporte que efectúe tanto la función de bomba del corazón, como la de perfusión realizada por los pulmones. Los equipos utilizados por excelencia son las máquinas Corazón-Pulmón, o también llamadas bombas de circulación/perfusión extracorpórea.

-Un módulo auxiliar de medición que presente directamente el flujo circulante de salida de la bomba, reducirá en gran medida el tiempo empleado en la calibración y el error humano inherente en el proceso.

-Existe una función lineal que relaciona al flujo circulante con la velocidad, la cual fue obtenida por medio de un análisis de regresión lineal. Este análisis permite establecer la línea recta más representativa de los valores de flujo determinados en el

proceso de calibración por una velocidad dada.

-La relación existente entre la velocidad y el flujo circulante puede ser también determinada por medio del volumen del golpe. Este volumen no es más que una constante, la cual es multiplicada por la velocidad de rotación de las bombas para obtener un valor aproximado del flujo.

-Tanto la regresión lineal como el método del volumen del golpe proporcionan una línea recta que representa la relación de la velocidad angular y el flujo circulante. La regresión lineal se considera más exacta, porque además de multiplicar la velocidad de rotación de las bombas peristálticas, se añade un valor constante que modifica a la línea recta, lo cual la vuelve más representativa de los valores reales obtenidos en el proceso de la calibración.

-La señal proveniente de la compuerta NAND (N7413A) en el punto de prueba 2, pasará al módulo auxiliar para ser modificada. Esta señal no debe ser alterada, pues las funciones actuales de las bombas peristálticas no serán reformadas; para lograr esto, se hará uso de una etapa previa de acople utilizando amplificadores operacionales (alta impedancia de entrada).

-El tren de pulsos proveniente de las bombas peristálticas de la máquina corazón-pulmón, cuya frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de giro, debe ser cuantificado, y expresado este valor en números binarios.

-La cuantificación de la frecuencia se logra usando un circuito de toma de muestra, el cual consiste en una base de tiempo sincronizada con el tren de pulsos, de tal manera que pueda establecerse una relación entre la frecuencia y el número de pulsos que deja pasar la base de tiempo.

-La base de tiempo debe ser de un segundo para obtener una relación directa entre el número de pulsos y la frecuencia. La cuantificación entonces, puede ser lograda utilizando un contador de pulsos.

-El contador debe tener capacidad suficiente para manejar el máximo valor de frecuencia esperado que es de 300 Hz. Se utilizará, entonces, un arreglo de tres contadores de cuatro bits en cascada con una capacidad de conteo máxima de 511 pulsos.

-La conversión de velocidad a flujo esta dada por la relación  $F=a+bV$ . El proceso de conversión, por tanto, requiere de la multiplicación del valor binario de la frecuencia (V) por una constante "b", haciendo luego una suma algebraica de este resultado con la constante "a".

-A cada combinación de manguera y bomba le corresponde un juego específico de constantes a y b. Deberá existir un mecanismo de selección que permita establecer una concordancia entre la combinación de bomba-manguera y el juego de constantes.

-La selección de combinaciones producirá dos códigos binarios diferentes: uno manejará al multiplexor, mientras el otro proporciona la información de cuales constantes deberán utilizarse.

-Considerando el gran número de bits involucrados en el proceso de conversión (9 bits para la velocidad, 5 bits para la constante b, y 6 bits para la constante a), se considera como alternativa válida de solución, la utilización de un sistema microprocesado capaz de manejar hasta ocho bits en el bus de datos.

-Debe elaborarse un programa hexadecimal tal, que el microprocesador pueda efectuar las rutinas necesarias para tomar lectura de los datos de entrada, efectuar la conversión de velocidad a flujo, y luego proporcionar una salida de datos que puedan ser representados en visualizadores de siete segmentos.

-Es indispensable contar con un arreglo de cuatro visualizadores de siete segmentos para poder presentar la salida de flujo máxima esperada (aproximadamente 8700 mL/min de la multiplicación de la frecuencia máxima por el valor máximo de la constante b).

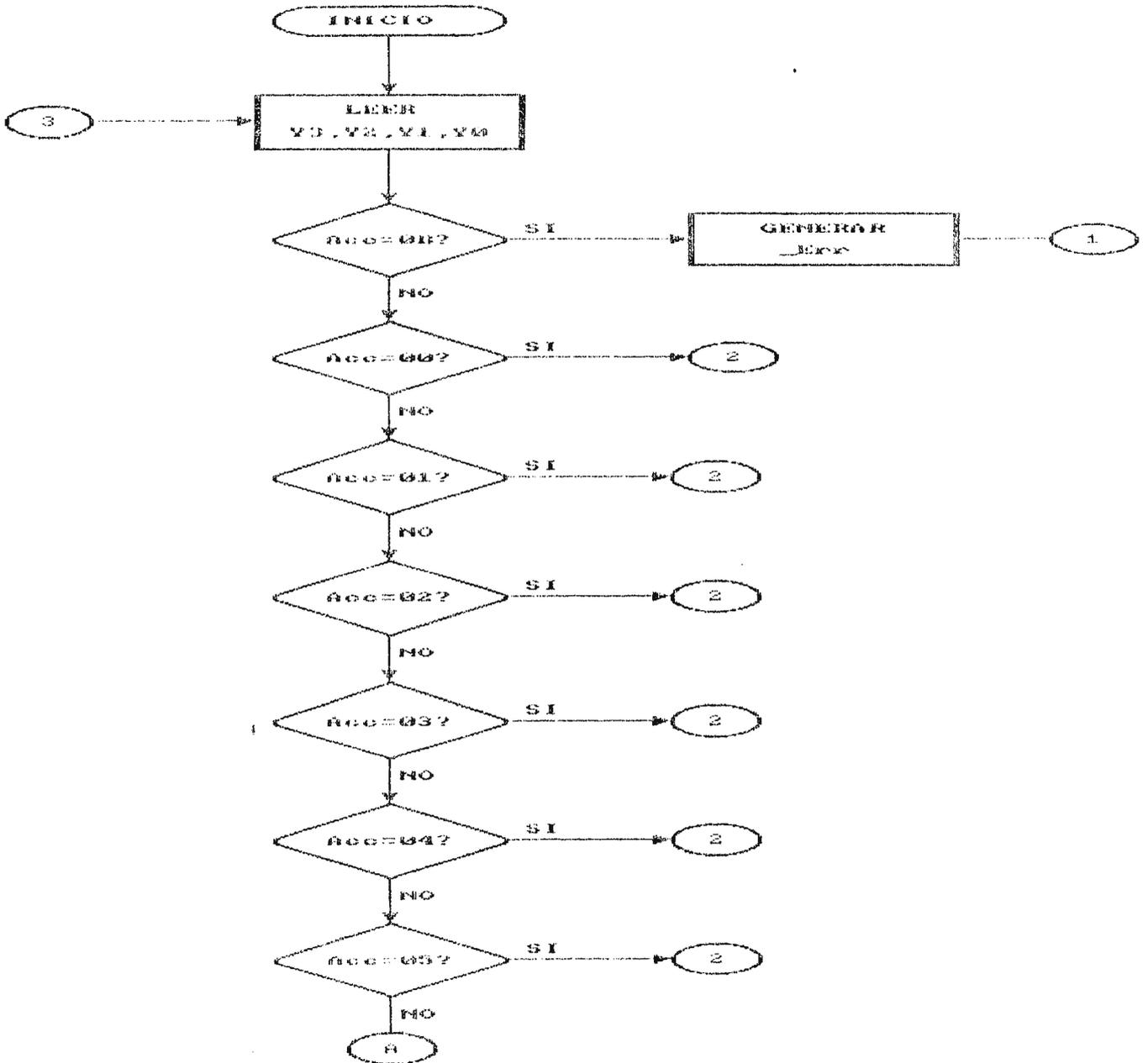
-El sistema microprocesado requiere de un programa almacenado en memoria ROM, el cual determina todas las funciones que deben realizarse y el orden lógico en el cual deben desarrollarse para obtener el resultado deseado.

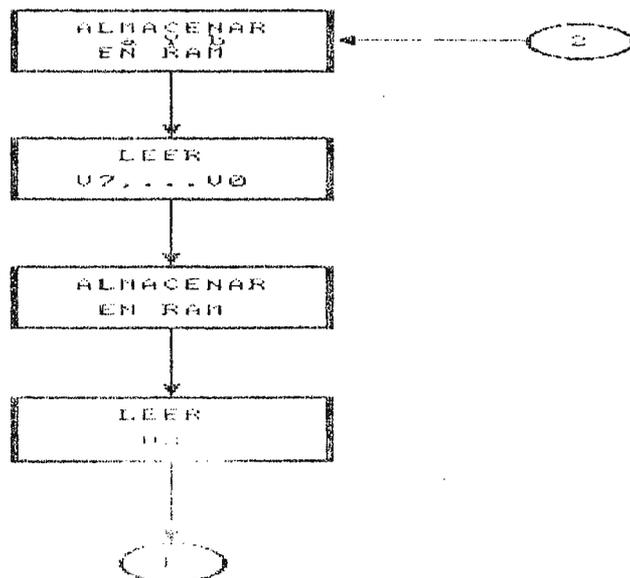
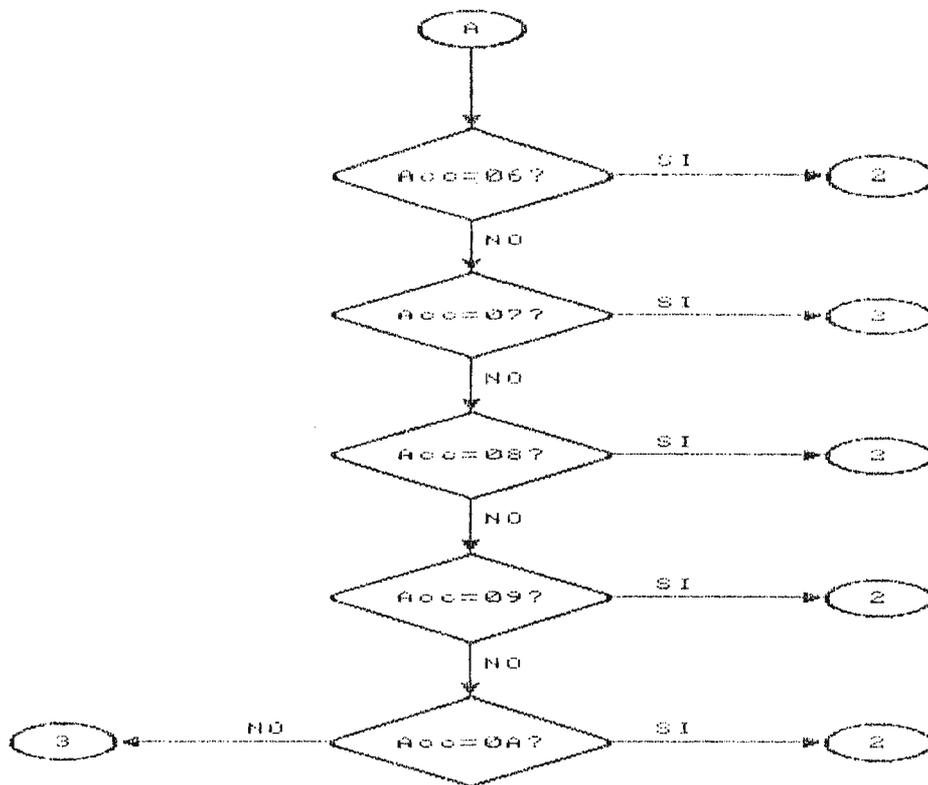
-El programa está dividido en etapas que desarrollan una función específica, el resultado obtenido es utilizado en la etapa siguiente, lo que implica un orden secuencial de las funciones a desarrollar y confirma la necesidad de establecer un orden específico para desarrollar cada una de las funciones para llegar a la transformación de velocidad a flujo.

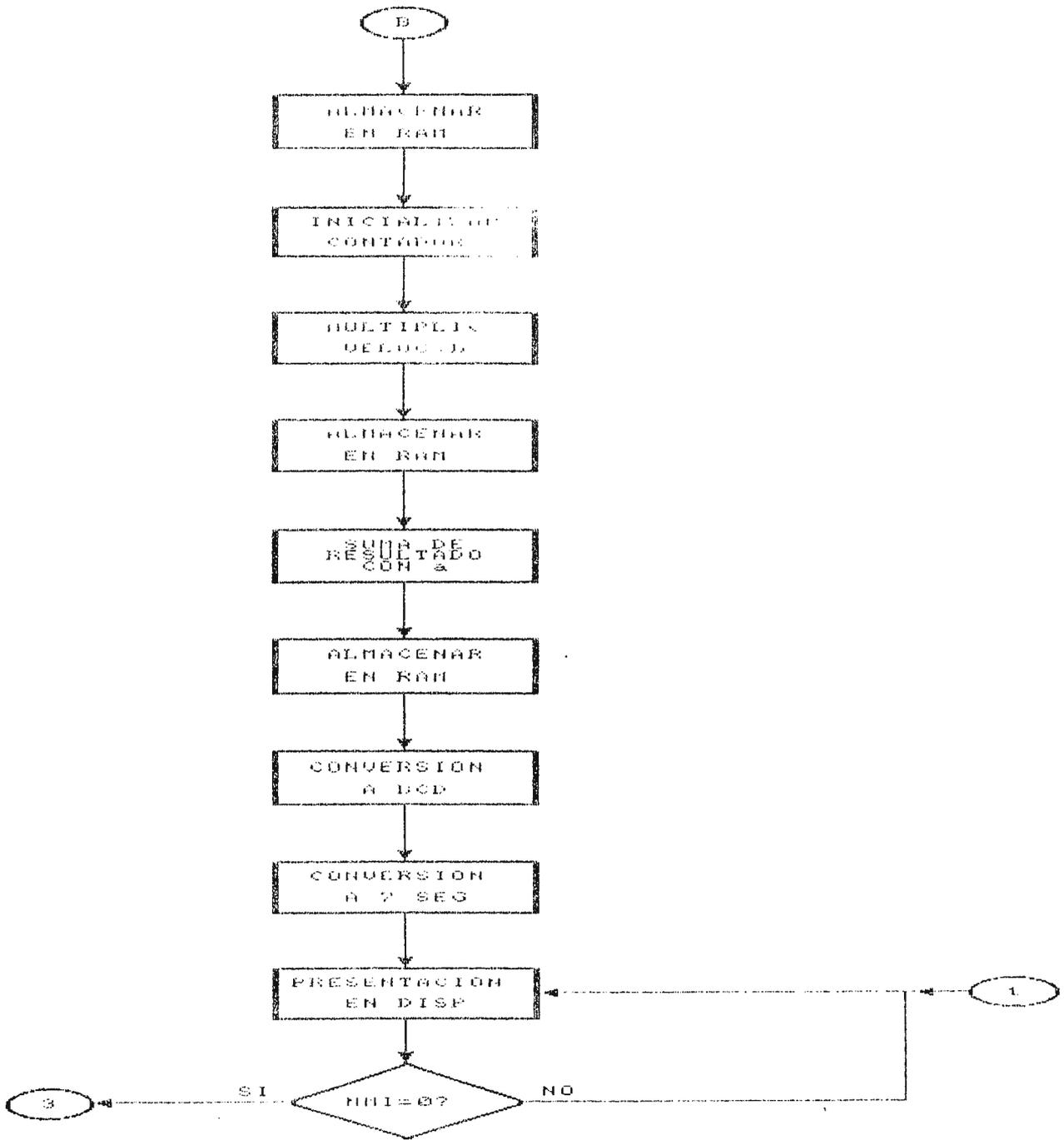
-El módulo auxiliar es sumamente fácil de operar, pues solo requiere de la escogitación de la bomba peristáltica en estudio, así como la selección de la manguera que está siendo utilizada por la bomba. Estas selecciones se realizan mediante la rotación de dos selectores ubicados al frente del módulo auxiliar. La lectura obtenida en el juego de visualizadores es el valor de flujo entregado por la combinación de bomba-manguera para la velocidad de giro ajustada.

-La versatilidad del módulo auxiliar estriba en la facilidad con que puede ser adaptado a otro tipo de equipos con similares características (transformación de velocidad de giro a flujo (en mL/min)), únicamente alterando el programa almacenado en la EPROM.

-El módulo auxiliar de medición está diseñado como un equipo adicional que puede ser o no conectado a la bomba de circulación extracorpórea, y que por su tamaño y peso es fácilmente transportable.







	Nemotecnico	Código de op	Modo de direccionamiento	Descripción	
A	ADC	69	Inmediato	Suma $M$ a $A$ con arrastre	
		6D	Absoluto		
		65	Página cero		
		61	(Ind), $X$		
		71	(Ind), $Y$		
		75	Página cero $X$		
		7D	Absoluto $X$		
	79	Absoluto $Y$			
	72 *	Indirecto			
AND	AND	29	Inmediato	AND de $M$ con $A \rightarrow A$	
		2D	Absoluto		
		25	Página cero		
		21	(Ind), $X$		
		31	(Ind), $Y$		
		35	Página cero $X$		
		3D	Absoluto $X$		
39	Absoluto $Y$				
32 *	Indirecto				
ASL	ASL	0E	Absoluto	Desplaza a la izquierda un bit (memoria o acumulador)	
		06	Página cero		
		0A	Implicito		
		16	Página cero $X$		
		1E	Absoluto $X$		
B	BCC	90	Relativo	Bifurca sobre arrastre a cero ( $C' = 0$ )	
	BCS	B0	Relativo	Bifurca sobre arrastre a uno ( $C' = 1$ )	
	BEQ	F0	Relativo	Bifurca sobre resultado cero ( $Z = 1$ )	
	BIT	BIT	89 *	Inmediato	Test de bits de memoria con acumulador
			2C	Absoluto	
			24	Página cero	
			34 *	Página cero $X$	
	3C *	Absoluto $X$			
	BMI	30	Relativo	Bifurca sobre resultado menos ( $N = 1$ )	
	BNE	D0	Relativo	Bifurca sobre resultado no cero ( $Z = 0$ )	
	BPL	10	Relativo	Bifurca sobre resultado más ( $N = 0$ )	
	BRA *	80	Relativo	Bifurca siempre	
BRK	00	Implicito	Ruptura		
BVC	50	Relativo	Bifurca sobre overflow a cero ( $V' = 0$ )		
BVS	70	Relativo	Bifurca sobre overflow a uno ( $V' = 1$ )		
C	CLC	18	Implicito	Borra señalizador de arrastre	
	CLD	D8	Implicito	Borra modo decimal	
	CLI	58	Implicito	Borra bit de inhabilitación de interrupción	
	CLV	B8	Implicito	Borra señalizador de overflow	
	CMP	CMP	C9	Inmediato	Compara $A$ con $N$ ( $A - N$ )
			CD	Absoluto	
			C5	Página cero	
			C1	(Ind), $X$	
			D1	(Ind), $Y$	
D5			Página cero $X$		
DD			Absoluto $X$		
D9			Absoluto $Y$		
D2 *	Indirecto				

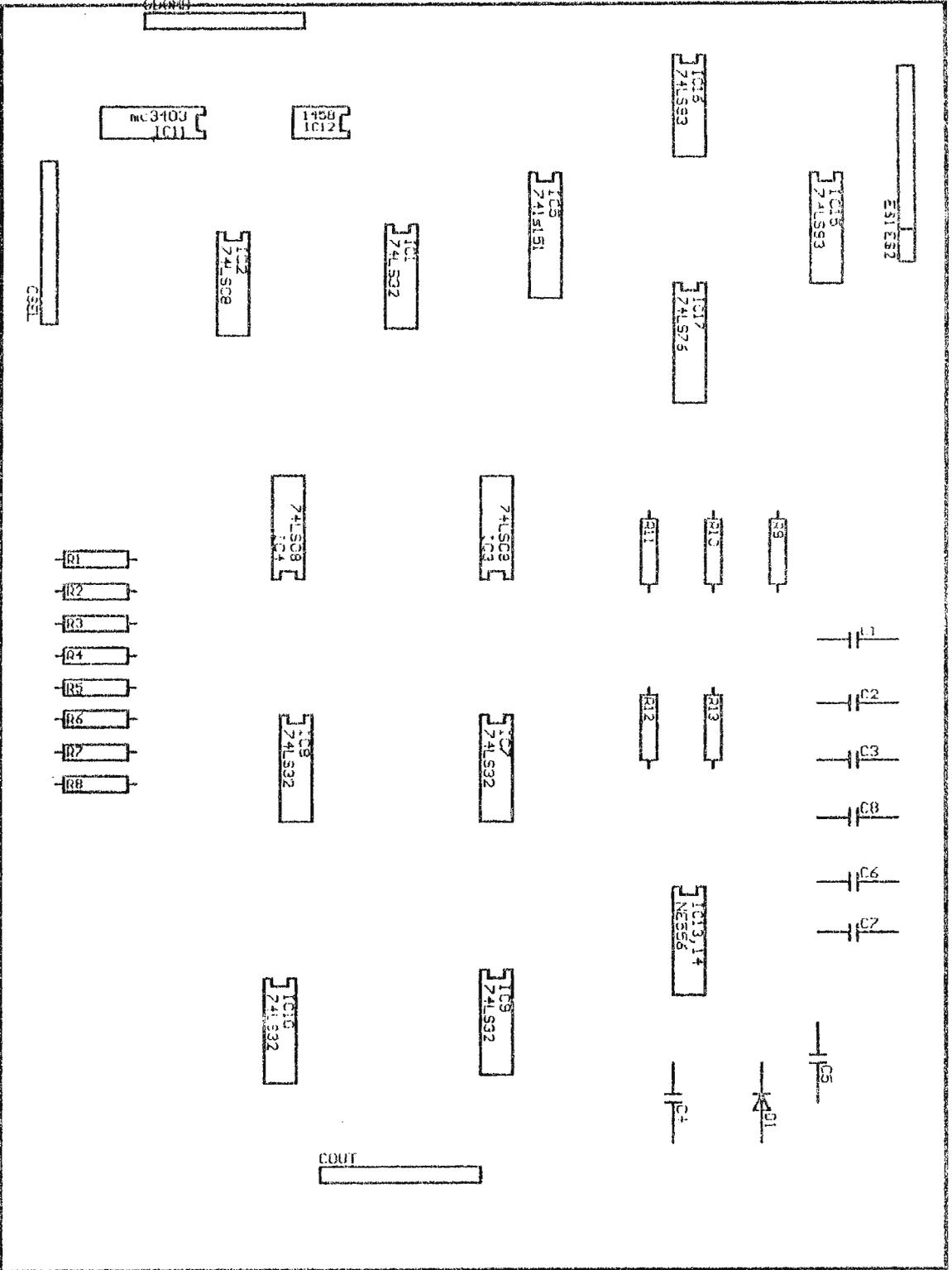
	Nemotécnico	Código de op	Modo de direccionamiento	Descripción
C	CPX	E0 EC E4	Inmediato Absoluto Página cero	Compara índice $X$ con $N$ ( $X - N$ )
		CPY	C0 CC C4	Inmediato Absoluto Página cero
D	DEC		CE C6 3A *	Absoluto Página cero Implicito
		D6 DE	Página cero $X$ Absoluto $X$	
	DEX DEY	CA 88	Implicito Implicito	Decrementa índice $X$ en uno Decrementa índice $Y$ en uno
E	EOR	49 4D 45 41 51 55 5D 59 52 *	Inmediato Absoluto Página cero (Ind, $X$ ) (Ind, $Y$ ) Página cero $X$ Absoluto $X$ Absoluto $Y$ Indirecto	OR exclusiva de $M$ con $A \rightarrow A$
		I	INC	EE E6 1A *
F6 FE	Página cero $X$ Absoluto $X$			
INX INY	E8 C8		Implicito Implicito	Incrementa índice $X$ en uno Incrementa índice $Y$ en uno
J	JMP	4C 7C *	Absoluto (Ind, $X$ )	Salta a nueva posición
		6C	Indirecto	
	JSR	20	Absoluto	Salta a nueva posición guardando dir de vuelta
L	LDA	A9 AD A5 A1 B1 B5 BD B9 B2 *	Inmediato Absoluto Página cero (Ind, $X$ ) (Ind, $Y$ ) Página cero $X$ Absoluto $X$ Absoluto $Y$ Indirecto	Carga $M$ en $A$
		LDX	A2 AE A6 BE B6	
	LDY		A0 AC A4 B4 BC	Inmediato Absoluto Página cero Página cero $X$ Absoluto $X$
		LSR	4E 46 4A 56 5E	Absoluto Página cero Implicito Página cero $X$ Absoluto $X$

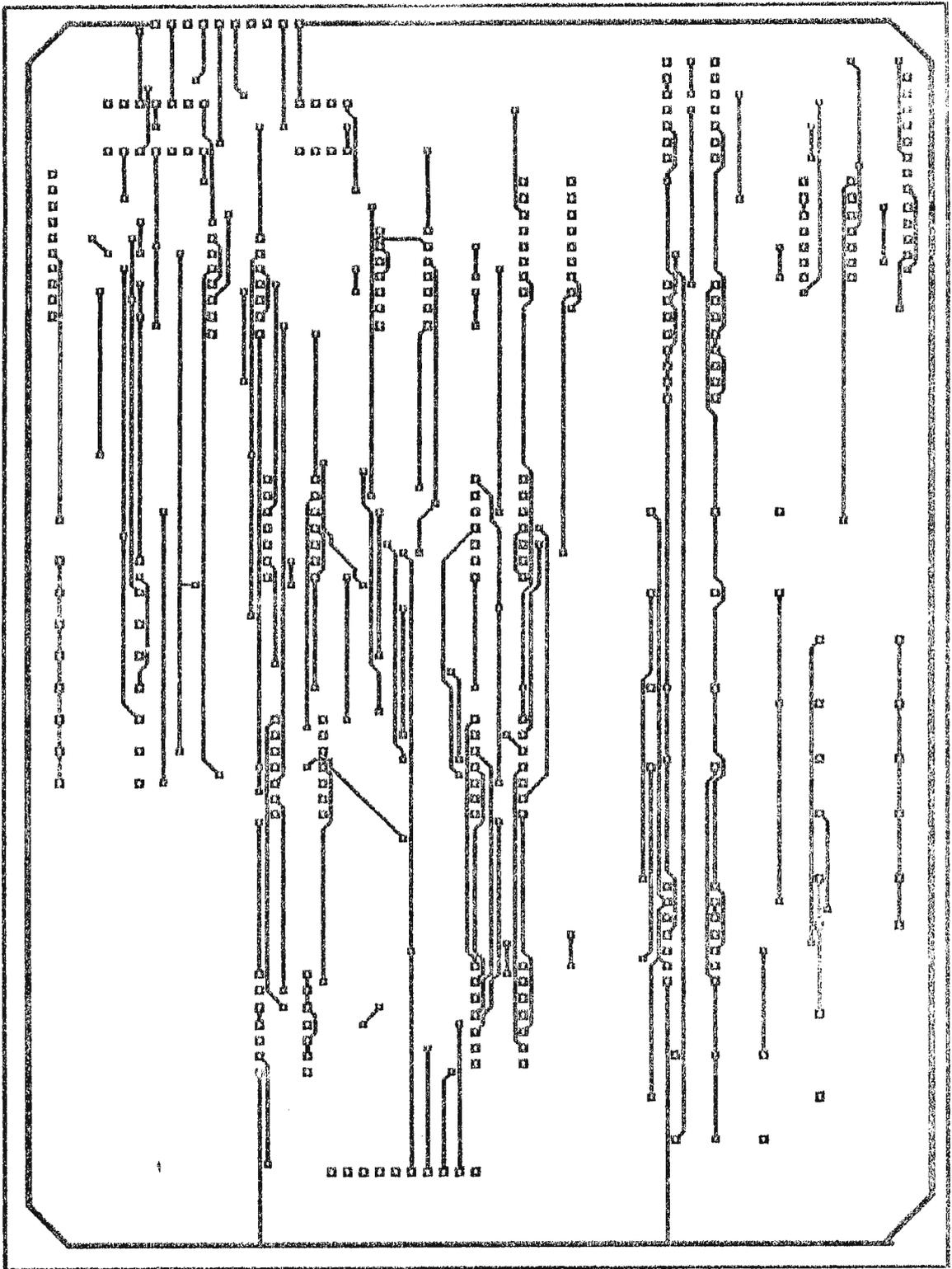
	Nemotécnico	Código de op	Modo de direccionamiento	Descripción	
N	NOP	EA	Implicito	No operación	
O	ORA	09 0D 05 01 11 15 1D 19 12 *	Inmediato Absoluto Página cero (Ind, X) (Ind), Y Página cero X Absoluto X Absoluto Y Indirecto	OR de A con M $\rightarrow$ A	
P	PHA	48	Implicito	Introduce acumulador en pila	
	PHP	08	Implicito	Introduce status del procesador en pila	
	PHX *	DA	Implicito	Introduce índice X en pila	
	PHY *	5A	Implicito	Introduce índice Y en pila	
	PLA	68	Implicito	Saca acumulador de pila	
	PLP	28	Implicito	Saca status del procesador de pila	
	PLX *	FA	Implicito	Saca índice X de pila	
	PLY *	7A	Implicito	Saca índice Y de pila	
R	ROL	2E 26 2A 36 3E	Absoluto Página cero Implicito Página cero X Absoluto X	Desplaza circularmente un bit a la izquierda (memoria o acumulador)	
		ROR	6E 66 6A 76 7E	Absoluto Página cero Implicito Página cero X Absoluto Y	Desplaza circularmente un bit a la derecha (memoria o acumulador)
			RTI	40	Implicito
	RIS	60	Implicito	Vuelta de subrutina	
	S	SBC	E9 ED E5 E1 F1 FD F9 F2 *	Inmediato Absoluto Página cero (Ind, X) (Ind), Y Página cero X Absoluto X Absoluto Y Indirecto	Resta M de A con prestamo
SBC			38	Implicito	Pone a 1 senalizador de arrastre
SED			F8	Implicito	Pone a 1 modo decimal
SEI			78	Implicito	Pone a 1 status de inhabilitación de interrupción
STA			8D 85 81 91 95 9D 99 92 *	Absoluto Página cero (Ind, X) (Ind), Y Página cero X Absoluto X Absoluto Y Indirecto	Almacena acumulador en memoria
			STP †	DB	Implicito
		STX	8E 86 96	Absoluto Página cero Página cero Y	Almacena índice X en memoria

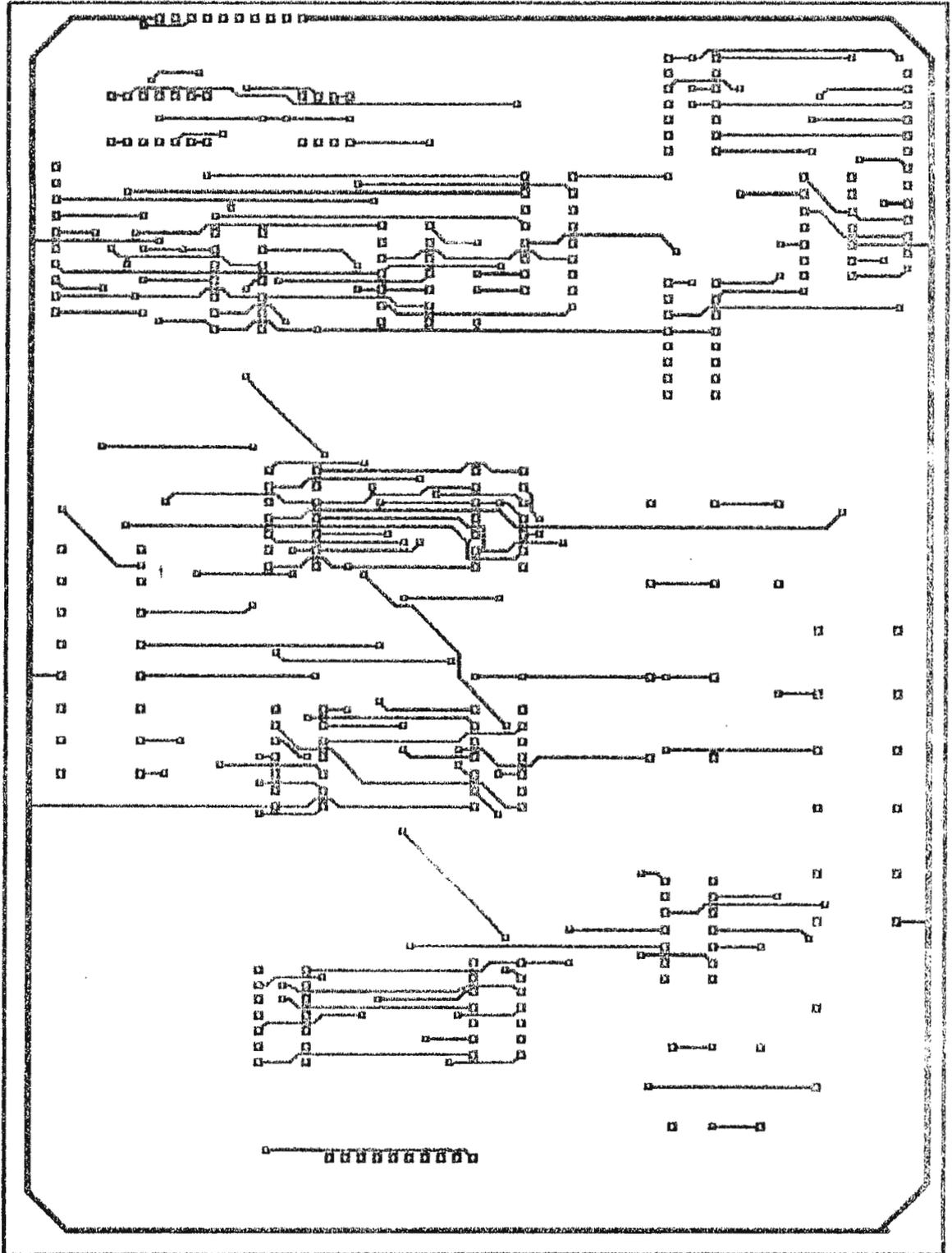
	Nemotecnico	Código de op	Modo de direccionamiento	Descripción
S	STY	8C 84 94	Absoluto Página cero Página cero X	Almacena Índice Y en memoria
	STZ *	9C 64 74 9E	Absoluto Página cero Página cero X Absoluto X	Almacena cero en memoria
	TAX	AA	Implícito	Transfiere acumulador a índice X
	TAY	AB	Implícito	Transfiere acumulador a índice Y
T	TRB *	1C	Absoluto	Test y reinicialización de bits de memoria con acumulador
		14	Página cero	
	TSB *	0C	Absoluto	Test e inicialización de bits de memoria con acumulador
		04	Página cero	
	TSX	BA	Implícito	Transfiere puntero de pila a índice X
	TXA	8A	Implícito	Transfiere índice X a acumulador
	TXS	9A	Implícito	Transfiere índice X a puntero de pila
TYA	98	Implícito	Transfiere índice Y a acumulador	
W	WAY †	CB	Implícito	Espera interrupción

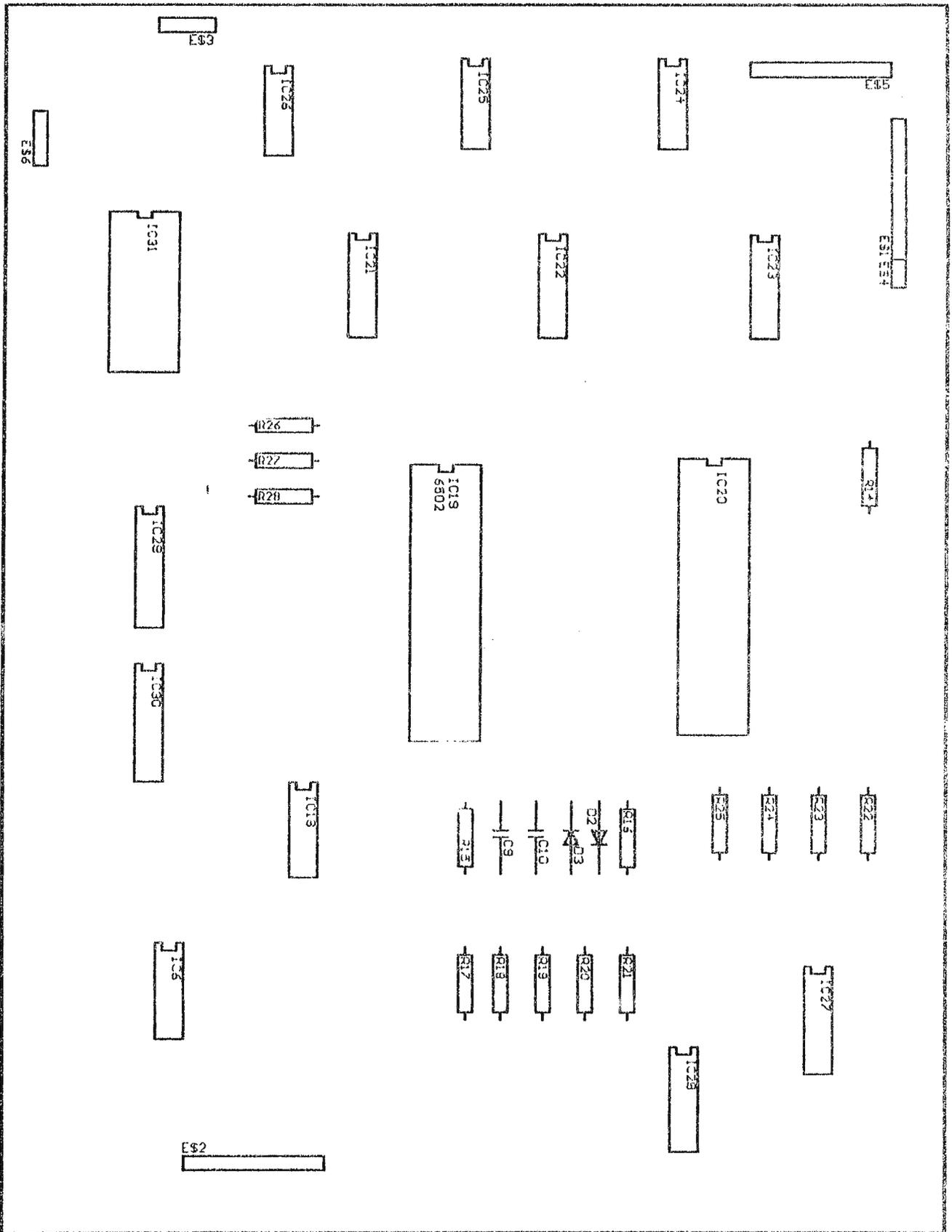
\* Encontrado en 65C02 y microprocesadores posteriores de la serie 65xxx.

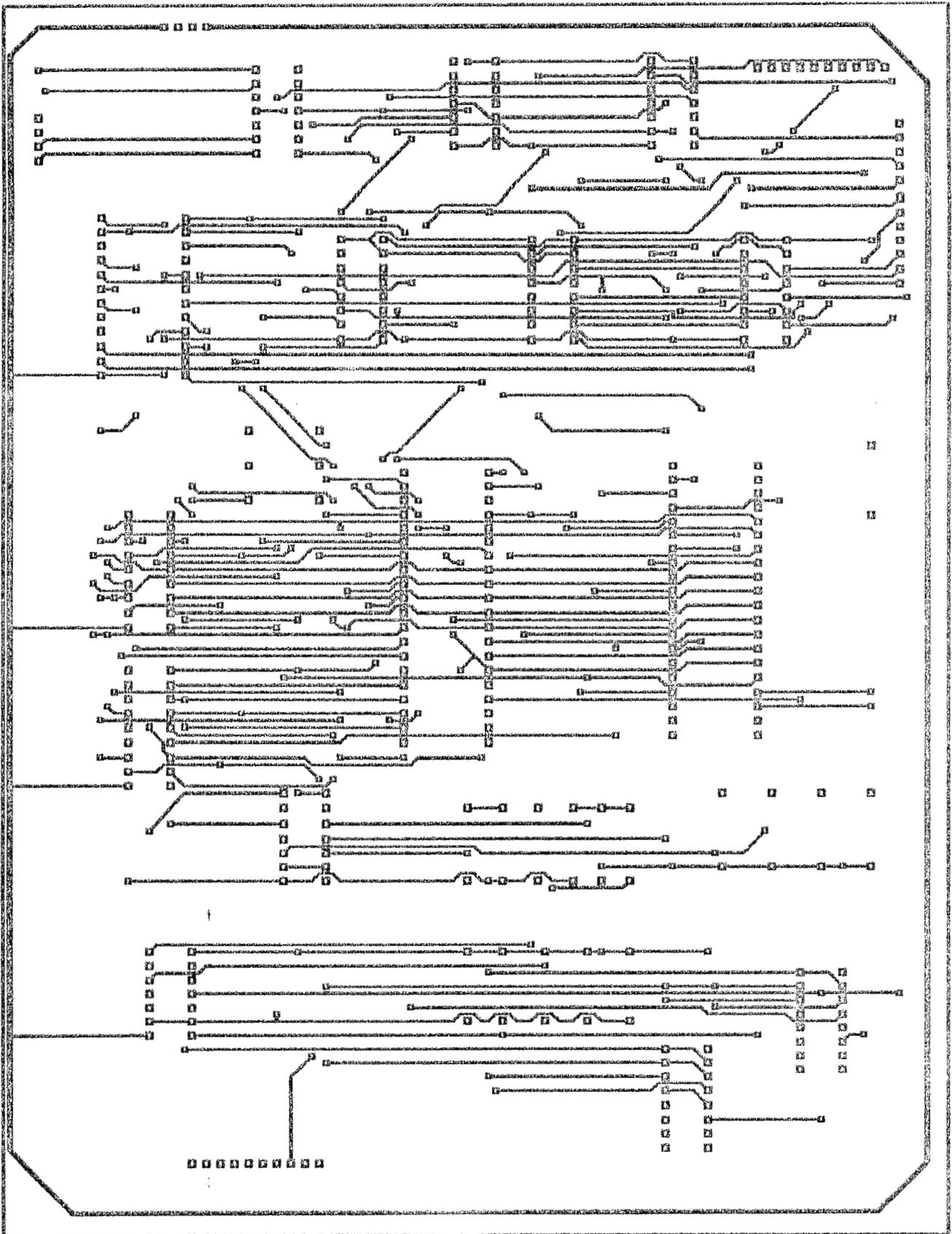
† Encontrado en 65C02 de Western Design Center, Inc., y microprocesadores posteriores de la serie 65xxx.

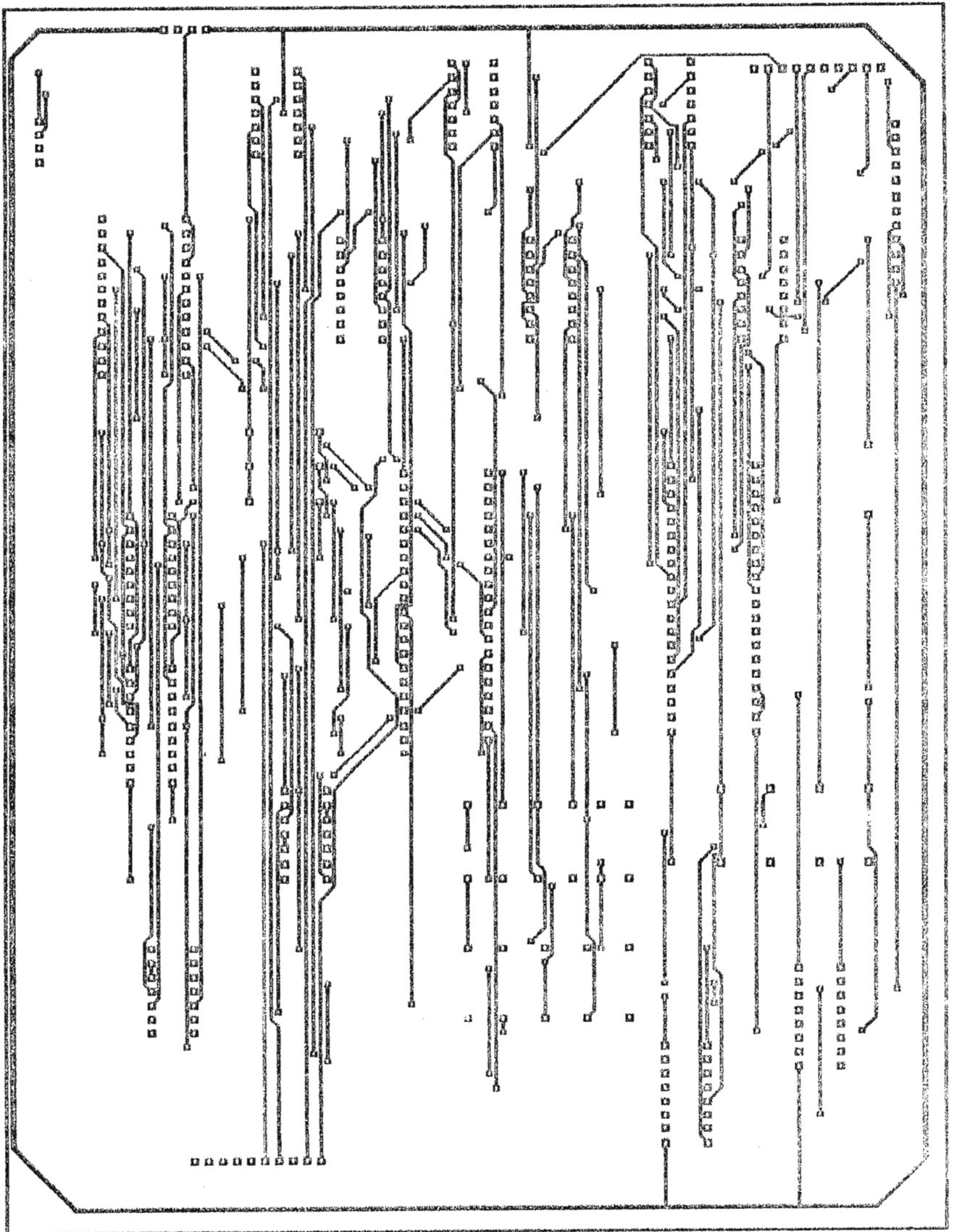












# SN7400, SN74LS00, SN74S00 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-NAND GATES

DECEMBER 1983 - REVISED MARCH 1988

- Package Options Include Plastic "Small Outline" Packages, Ceramic Chip Carriers and Flat Packages, and Plastic and Ceramic DIPs
- Dependable Texas Instruments Quality and Reliability

## Description

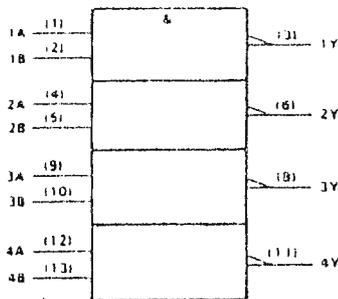
These devices contain four independent 2-input-NAND gates.

The SN5400, SN54LS00, and SN54S00 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN7400, SN74LS00, and SN74S00 are characterized for operation from 0°C to 70°C.

FUNCTION TABLE (each gate)

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
H	H	L
L	X	H
X	L	H

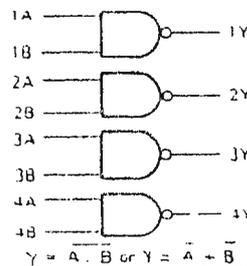
## Logic Symbol



This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std. 31-1984 and IEC Publication 617-12.

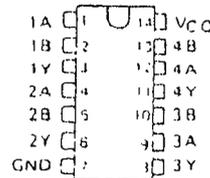
Pin numbers shown are for D, J, and N packages.

## Logic Diagram (positive logic)



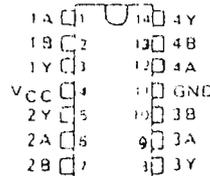
- SN5400 J PACKAGE
- SN54LS00, SN54S00 J OR W PACKAGE
- SN7400 N PACKAGE
- SN74LS00, SN74S00 D OR N PACKAGE

(TOP VIEW)



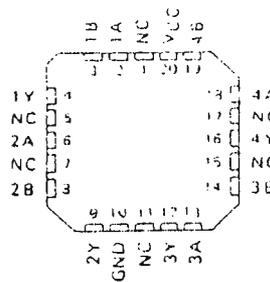
SN5400 W PACKAGE

(TOP VIEW)



SN54LS00, SN54S00 FK PACKAGE

(TOP VIEW)



NC - No internal connection



TTL Devices

PRODUCTION DATA documents contain information in excess of publication data. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS  
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75285

# HEX INVERTERS

DECEMBER 1981 REVISED MARCH 1988

- Package Options Include Plastic "Small Outline" Packages, Ceramic Chip Carriers and Flat Packages, and Plastic and Ceramic DIPs
- Dependable Texas Instruments Quality and Reliability

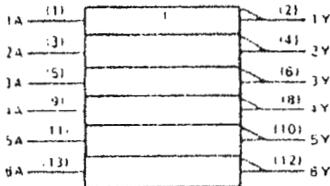
### description

These devices contain six independent inverters. The SN5404, SN54LS04, and SN54S04 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN7404, SN74LS04, and SN74S04 are characterized for operation from 0°C to 70°C.

FUNCTION TABLE (each inverter)

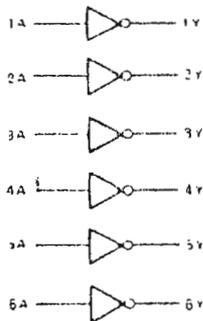
INPUTS		OUTPUT	
A		Y	
H		L	
L		H	

### logic symbol



The logic symbols in accordance with ANSI/IEEE Std. J1-1984 and EC Publication 517-12. Pin numbers shown are for D, J, and N packages.

### logic diagram (positive logic)



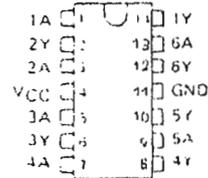
- SN5404 J PACKAGE
- SN54LS04 SN54S04 J OR W PACKAGE
- SN7404 N PACKAGE
- SN74LS04 SN74S04 D OR N PACKAGE

(TOP VIEW)



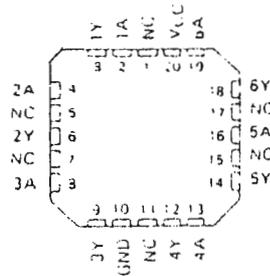
SN5404 W PACKAGE

(TOP VIEW)



SN54LS04 SN54S04 FK PACKAGE

(TOP VIEW)



NC: No internal connection



TTL Devices

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



POST OFFICE BOX 55212 • DALLAS, TEXAS 75255

# DUAL 4-INPUT POSITIVE-NAND SCHMITT TRIGGERS

DECEMBER 1981 REVISED MARCH 1983

- Operation from Very Slow Edges
- Improved Line Receiving Characteristics
- High Noise Immunity

SN54113 SN54LS113 J OR W PACKAGE  
SN74113 SN74LS113 N PACKAGE  
SN74ALS113 D OR V PACKAGE

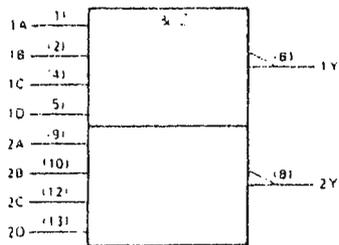
### Description

Each circuit functions as a 4-input NAND gate because of the Schmitt action. It has different input threshold levels for positive (V<sub>PL</sub>) and for negative-going (V<sub>TL</sub>) signals.

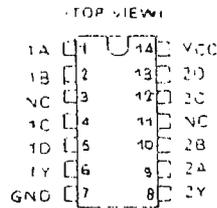
These circuits are temperature compensated and can be triggered from the slowest of input rates and still give clean, jitter-free output signals.

The SN54113 and SN54LS113 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN74113 and SN74LS113 are characterized for operation from 0°C to 70°C.

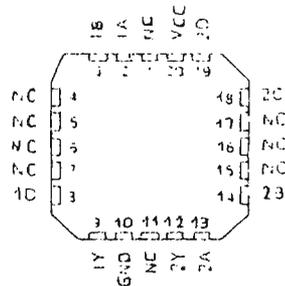
### Logic Symbol



1. Symbols and pin connections with SN54, SN74 and SN74ALS are shown in Figure 1.  
2. See the Electrical Characteristics section for timing and electrical characteristics.

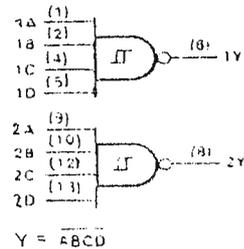


SN54LS113 JK PACKAGE  
TOP VIEW



NC No internal connection

### Logic Diagram (Positive Logic)



TTL Devices

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

TEXAS  
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 455022 • DALLAS, TEXAS 75245

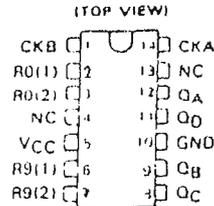
SN5490A, SN5492A, SN5493A, SN54LS90, SN54LS92, SN54LS93,  
 SN7490A, SN7492A, SN7493A, SN74LS90, SN74LS92, SN74LS93  
 DECADE, DIVIDE-BY-TWELVE AND BINARY COUNTERS

MARCH 1974 (REVISED MARCH 1988)

- 90A, LS90 . . . Decade Counters
- 92A, LS92 . . . Divide By-Twelve Counters
- 93A, LS93 . . . 4 Bit Binary Counters

- SN5490A, SN54LS90 . . . J OR W PACKAGE
- SN7490A . . . N PACKAGE
- SN74LS90 . . . D OR N PACKAGE

TYPES	TYPICAL POWER DISSIPATION
90A	145 mW
92A, 93A	130 mW
LS90, LS92, LS93	45 mW



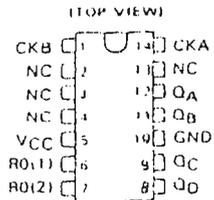
**description**

Each of these monolithic counters contains four master-slave flip-flops and additional gating to provide a divide by two counter and a three stage binary counter for which the count cycle length is divide-by-five for the 90A and LS90, divide-by six for the 92A and LS92, and the divide by eight for the 93A and LS93.

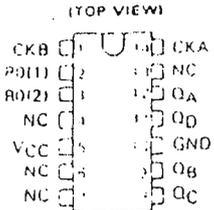
All of these counters have a gated zero reset and the 90A and LS90 also have gated set to nine inputs for use in BCD nine's complement applications.

To use their maximum count length (decade, divide by twelve, or four-bit binary) of these counters, the CKB input is connected to the QA output. The input clock pulses are applied to CKA input and the outputs are as described in the appropriate function table. A symmetrical divide by ten count can be obtained from the 90A or LS90 counters by connecting the QD output to the CKA input and applying the input count to the CKB input which gives a divide by ten square wave at output QA.

- SN5492A, SN54LS92 . . . J OR W PACKAGE
- SN7492A . . . N PACKAGE
- SN74LS92 . . . D OR N PACKAGE



- SN5493A, SN54LS93 . . . J OR W PACKAGE
- SN7493 . . . N PACKAGE
- SN74LS93 . . . D OR N PACKAGE



NC -- No internal connection



TTL Devices

SN7490A, '92A, '93A, SN74LS90, 'LS92, 'LS93  
 DECADE, DIVIDE-BY-TWELVE, AND BINARY COUNTERS

'90A, 'LS90  
 BCD COUNT SEQUENCE  
 (See Note A)

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

'90A, 'LS90  
 BI QUINARY (5-2)  
 (See Note B)

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>A</sub>	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	H	L	L	L
6	H	L	L	H
7	H	L	H	L
8	H	L	H	H
9	H	H	L	L

'92A, 'LS92  
 COUNT SEQUENCE  
 (See Note C)

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	H	L	L	L
7	H	L	L	H
8	H	L	H	L
9	H	L	H	H
10	H	H	L	L
11	H	H	L	H

'90A, 'LS90  
 RESET COUNT FUNCTION TABLE

RESET INPUTS				OUTPUT			
R <sub>0(1)</sub>	R <sub>0(2)</sub>	R <sub>9(1)</sub>	R <sub>9(2)</sub>	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

'92A, 'LS92, '93A, 'LS93  
 RESET COUNT FUNCTION TABLE

RESET INPUTS		OUTPUT			
R <sub>0(1)</sub>	R <sub>0(2)</sub>	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
H	H	L	L	L	L
L	X	COUNT			
X	L	COUNT			

- NOTES  
 A. Output Q<sub>A</sub> is connected to input CKB for BCD count.  
 B. Output Q<sub>D</sub> is connected to input CKA for bi-quinary count.  
 C. Output Q<sub>A</sub> is connected to input CKB.  
 D. H = high level, L = low level, X = irrelevant.

'93A, 'LS93  
 COUNT SEQUENCE  
 (See Note C)

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H



TTL Devices

# SN54125, SN54126, SN54LS125A, SN54LS126A, SN74125, SN74126, SN74LS125A, SN74LS126A QUADRUPLE BUS BUFFERS WITH 3-STATE OUTPUTS

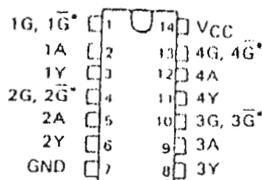
DECEMBER 1983 — REVISED MARCH 1988

- Quad Bus Buffers
- 3-State Outputs
- Separate Control for Each Channel

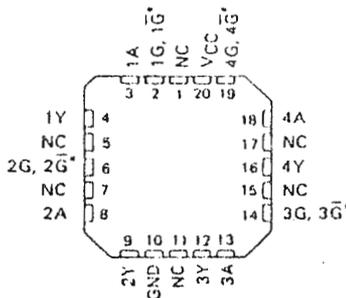
SN54125, SN54126, SN54LS125A,  
SN64LS126A . . . J OR W PACKAGE  
SN74125, SN74126 . . . N PACKAGE  
SN74LS125A, SN74LS126A . . . D OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)

## Description

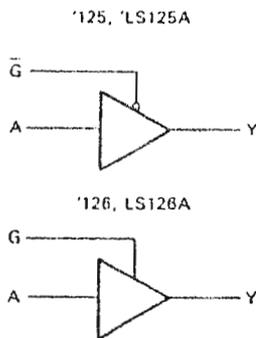
These bus buffers feature three-state outputs that, when enabled, have the low impedance characteristics of a TTL output with additional drive capability at high logic levels to permit driving heavily loaded bus lines without external pull-up resistors, when disabled, both output transistors are turned off presenting a high-impedance state to the bus so the output will act neither as a significant load nor as a driver. The '125 and 'LS125A outputs are disabled when  $\bar{G}$  is high. The '126 and 'LS126A outputs are disabled when  $G$  is low.



SN54LS125A, SN54LS126A . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



## Logic diagram (each gate)

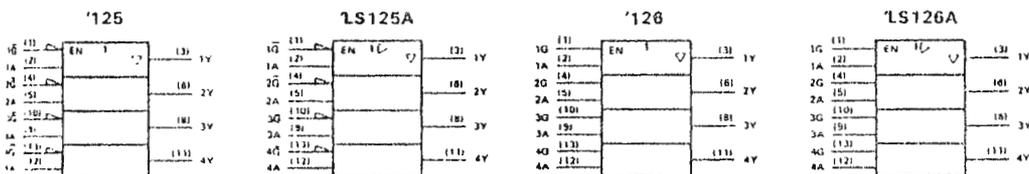


$\bar{G}$  on '125 and 'LS125A;  $G$  on '126 and 'LS126A

NC = No internal connection

positive logic  $Y = A$

## Logic symbols†



† These symbols are in accordance with ANSI/IEEE Std. 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are for D, J, N, and W packages.

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

TEXAS  
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265



TTL Devices

SN54150, SN54151A, SN54LS151, SN54S151,  
SN74150, SN74151A, SN74LS151, SN74S151  
DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS

DECEMBER 1972 REVISED MARCH 1988

- '150 Selects One-of-Sixteen Data Sources
- Others Select One-of-Eight Data Sources
- All Perform Parallel-to-Serial Conversion
- All Permit Multiplexing from N Lines to One Line
- Also For Use as Boolean Function Generator
- Input Clamping Diodes Simplify System Design
- Fully Compatible with Most TTL Circuits

TYPE	TYPICAL AVERAGE PROPAGATION DELAY TIME DATA INPUT TO W OUTPUT	TYPICAL POWER DISSIPATION
'150	13 ns	200 mW
'151A	8 ns	145 mW
'LS151	13 ns	30 mW
'S151	4.5 ns	225 mW

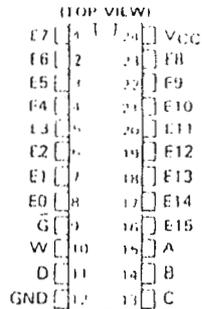
description

These monolithic data selectors/multiplexers contain full on-chip binary decoding to select the desired data source. The '150 selects one-of-sixteen data sources; the '151A, 'LS151, and 'S151 select one of eight data sources. The '150, '151A, 'LS151, and 'S151 have a strobe input which must be at a low logic level to enable these devices. A high level at the strobe forces the W output high, and the Y output (as applicable) low.

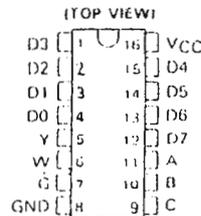
The '150 has only an inverted W output; the '151A, 'LS151, and 'S151 feature complementary W and Y outputs.

The '151A and '152A incorporate address buffers that have symmetrical propagation delay times through the complementary paths. This reduces the possibility of transients occurring at the output(s) due to changes made at the select inputs, even when the '151A outputs are enabled (i.e., strobe low).

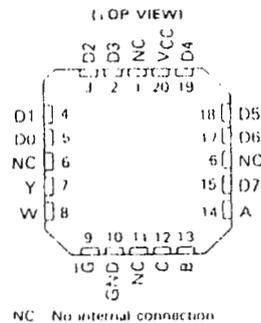
SN54150 . . . J OR W PACKAGE  
SN74150 . . . N PACKAGE



SN54151A, SN54LS151, SN54S151 . . . J OR W PACKAGE  
SN74151A . . . N PACKAGE  
SN74LS151, SN74S151 . . . D OR N PACKAGE



SN54LS151, SN54S151 . . . FK PACKAGE



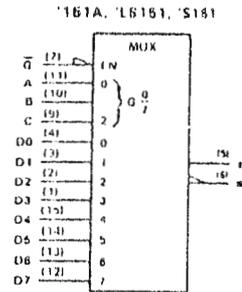
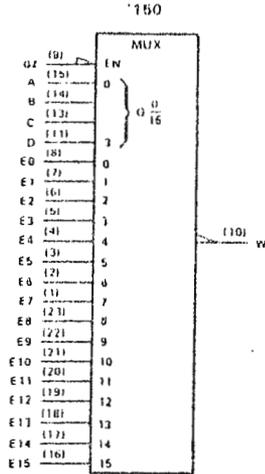
TTL Devices

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



SN54150, SN54151A, SN54LS151, SN54S151,  
SN74150, SN74151A, SN74LS151, SN74S151  
DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS

logic symbols†



TTL Devices

†These symbols are in accordance with ANSI/IEEE Std. 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are D, J, N, and W packages.

'150  
FUNCTION TABLE

INPUTS				STROBE $\bar{Q}$	OUTPUT W
SELECT D C B A					
X	X	X	X	H	H
L	L	L	L	L	$\bar{E}0$
L	L	L	H	L	$\bar{E}1$
L	L	H	L	L	$\bar{E}2$
L	L	H	H	L	$\bar{E}3$
L	H	L	L	L	$\bar{E}4$
L	H	L	H	L	$\bar{E}5$
L	H	H	L	L	$\bar{E}6$
L	H	H	H	L	$\bar{E}7$
H	L	L	L	L	$\bar{E}8$
H	L	L	H	L	$\bar{E}9$
H	L	H	L	L	$\bar{E}10$
H	L	H	H	L	$\bar{E}11$
H	H	L	L	L	$\bar{E}12$
H	H	L	H	L	$\bar{E}13$
H	H	H	L	L	$\bar{E}14$
H	H	H	H	L	$\bar{E}15$

'151A, 'LS151, 'S151  
FUNCTION TABLE

INPUTS				STROBE $\bar{Q}$	OUTPUT	
SELECT C B A					Y	W
X	X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	L	D0	$\bar{D}0$
L	L	H	L	L	D1	$\bar{D}1$
L	H	L	L	L	D2	$\bar{D}2$
L	H	H	L	L	D3	$\bar{D}3$
H	L	L	L	L	D4	$\bar{D}4$
H	L	H	L	L	D5	$\bar{D}5$
H	H	L	L	L	D6	$\bar{D}6$
H	H	H	L	L	D7	$\bar{D}7$

H = high level, L = low level, X = irrelevant  
 $\bar{E}0, \bar{E}1, \dots, \bar{E}15$  = the complement of the level of the respective E input  
D0, D1, ..., D7 = the level of the D respective input

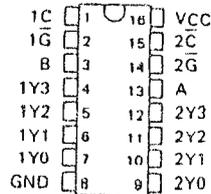
# SN54155, SN54156, SN54LS155A, SN54LS156, SN74155, SN74156, SN74LS155A, SN74LS156 DUAL 2-LINE TO 4-LINE DECODERS/DEMULTIPLEXERS

MARCH 1974 — REVISED MARCH 1988

**Applications:**

- Dual 2-to 4-Line Decoder
- Dual 1-to 4-Line Demultiplexer
- 2-to 8-Line Decoder
- 1-to 8-Line Demultiplexer

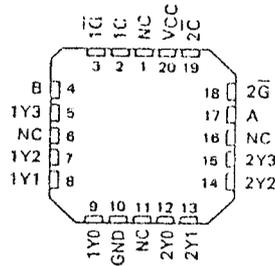
SN54155, SN54156, SN54LS155A,  
SN54LS156 . . . J OR W PACKAGE  
SN74155, SN74156 . . . N PACKAGE  
SN74LS155A, SN74LS156 . . . D OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



- Individual Strobes Simplify Cascading for Decoding or Demultiplexing Larger Words
- Input Clamping Diodes Simplify System Design
- Choice of Outputs:
  - Totem Pole ('155, 'LS155A)
  - Open-Collector ('156, 'LS156)

TYPE	TYPICAL AVERAGE PROPAGATION DELAY 3 GATE LEVELS	TYPICAL POWER DISSIPATION
'155, '156	21 ns	125 mW
'LS155A	18 ns	31 mW
'LS156	32 ns	31 mW

SN54LS155A, SN54LS156 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



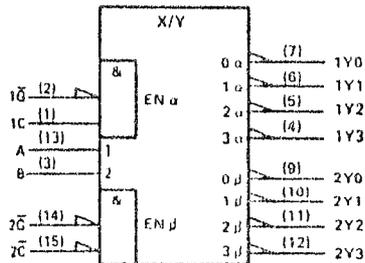
**Description**

These monolithic transistor-transistor-logic (TTL) circuits feature dual 1-line-to-4-line demultiplexers with individual strobes and common binary-address inputs in a single 16-pin package. When both sections are enabled by the strobes, the common binary-address inputs sequentially select and route associated input data to the appropriate output of each section. The individual strobes permit activating or inhibiting each of the 4-bit sections as desired. Data applied to input 1C is inverted at its outputs and data applied at 2C is not inverted through its outputs. The inverter following the 1C data input permits use as a 3-to-8-line decoder or 1-to-8-line demultiplexer without external gating. Input clamping diodes are provided on all of these circuits to minimize transmission-line effects and simplify system design.

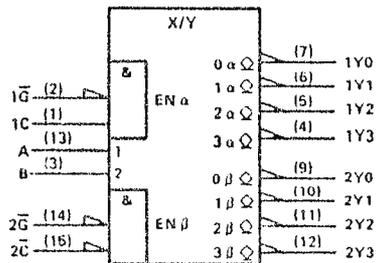
NC - No Internal connection

**Logic Symbols (2-line to 4-line decoder)†**

'155, 'LS155A



'156, 'LS156

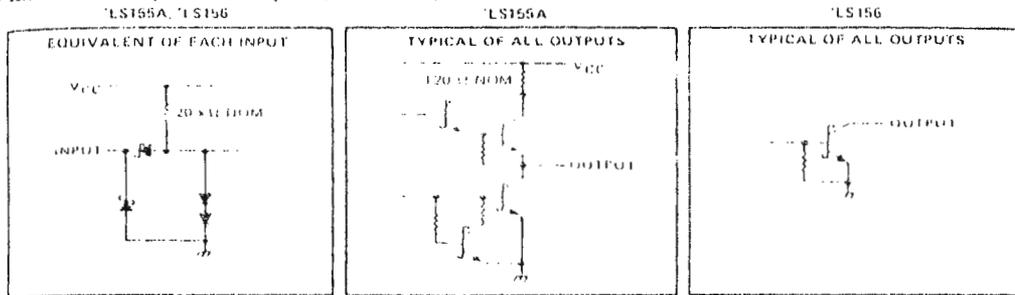


† Logic symbols are in accordance with ANSI/IEEE Std. 91-1984 and IEC Publication 617-12. For alternative symbols for other applications, see the following page.  
Numbers shown are for D, J, N, and W packages.

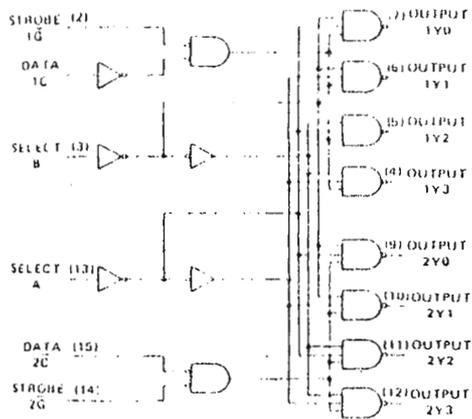


SN54155, SN54156, SN54LS155A, SN54LS156,  
SN74155, SN74156, SN74LS155A, SN74LS156  
DUAL 2-LINE TO 4-LINE DECODERS/DEMULTIPLEXERS

schematics of inputs and outputs (continued).



logic diagram (positive logic)



FUNCTION TABLE  
2 LINE TO 4 LINE DECODER  
OR 1 LINE TO 4 LINE DEMULTIPLEXER

SELECT		STROBE	DATA	OUTPUTS			
B	A	1G	1C	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H
L	H	L	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	H	L	H
H	H	L	H	H	H	H	L
X	X	X	L	H	H	H	H

SELECT		STROBE	DATA	OUTPUTS			
B	A	2G	2C	2Y0	2Y1	2Y2	2Y3
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	L	H	L	H	H
H	L	L	L	L	H	H	L
H	H	L	L	H	H	H	L
X	X	X	H	H	H	H	H

FUNCTION TABLE  
3 LINE TO 8 LINE DECODER  
OR 1 LINE TO 8 LINE DEMULTIPLEXER

SELECT			STROBE OR DATA	OUTPUTS							
C	B	A	G1	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
				2Y0	2Y1	2Y2	2Y3	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	H	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H
H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L

1C - inputs 1C and 2C connected together  
1G - inputs 1G and 2G connected together  
H = high level, L = low level, X = irrelevant



TTL Devices

SN54365A THRU SN54388A, SN54LS365A  
 SN74365A THRU SN74388A, SN74LS365A THRU SN74LS388A  
 HEX BUS DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

DECEMBER 1981 - REVISED MARCH 1988

- 3 State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- Choice of True or Inverting Outputs
- Package Options Include Plastic Small Outline Packages, Ceramic Chip Carriers and Flat Packages, and Plastic and Ceramic DIPs
- Dependable Texas Instruments Quality and Reliability

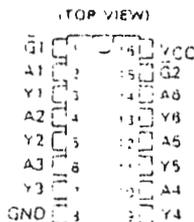
365A, 367A, LS365A, LS367A True Outputs  
 366A, 368A, LS366A, LS368A Inverting Outputs

These hex buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and safety of three state memory address drivers, clock drivers, and bus oriented receivers and transmitters. The designer has choice of selected combinations of inverting and noninverting outputs, symmetrical active-low control inputs.

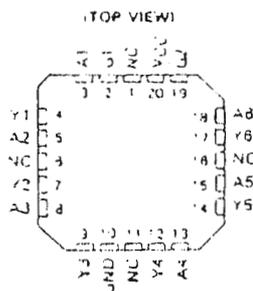
These devices feature high fan-out, improved fan-in, and can be used to drive terminated lines down to 100 ohms.

The SN54365A thru SN54388A and SN54LS365A thru SN54LS388A are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to +125°C. The SN74365A thru SN74388A and SN74LS365A thru SN74LS388A are characterized for operation from 0°C to 70°C.

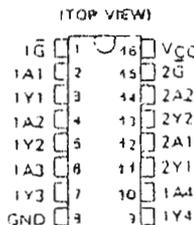
SN54365A, 368A, SN54LS365A, 368A J PACKAGE  
 SN74365A, 368A N PACKAGE  
 SN74LS365A, SN74LS368A D OR N PACKAGE



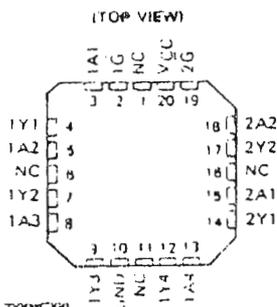
SN54LS365A, SN54LS366A PK PACKAGE



SN54367A, 368A, SN54LS367A, 368A J PACKAGE  
 SN74367A, 368A N PACKAGE  
 SN74LS367A, SN74LS368A D OR N PACKAGE



SN54LS367A, SN54LS368A PK PACKAGE



NC - No internal connection



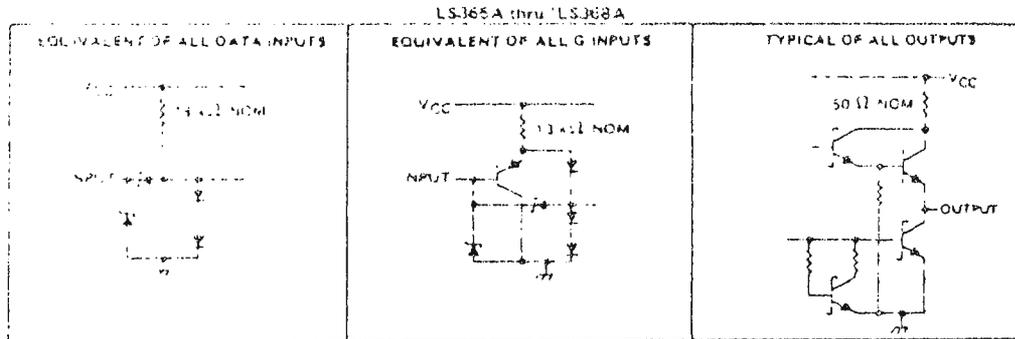
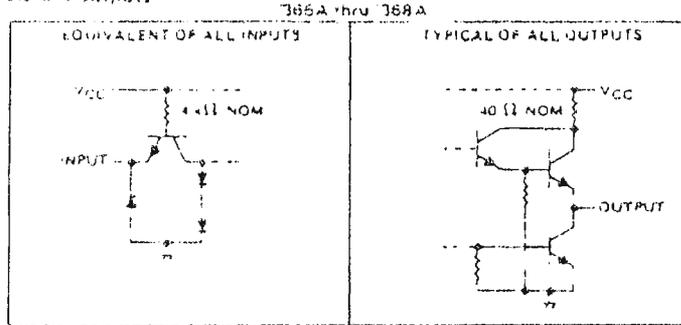
TTL DEVICES

TEXAS  
 INSTRUMENTS

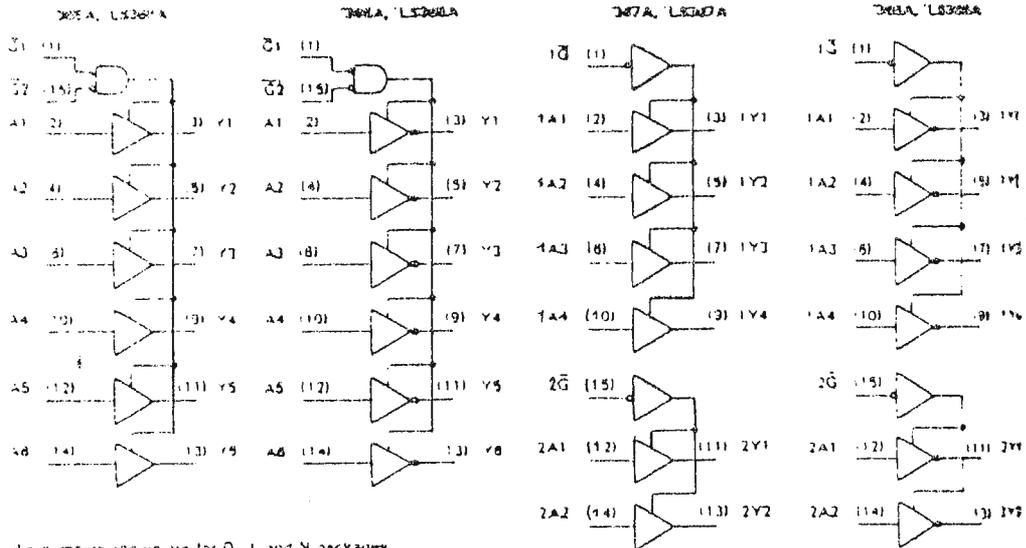
POST OFFICE BOX 516812 • DALLAS, TEXAS 75265

SN54365A THRU SN54368A, SN54LS365A THRU SN54LS368A  
 SN74365A THRU SN74368A, SN74LS365A THRU SN74LS368A  
 HEX BUS DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

schematics of inputs and outputs



logic diagrams (positive logic)





## MM2114/MM2114L Family 4096-Bit (1024 x 4) Static RAM's

Maximum Access/Current	MM2114-15L	MM2114-2L	MM2114-25L	MM2114-3L	MM2114-L	MM2114-15	MM2114-2	MM2114-25	MM2114-3	MM2114
Access (TAVQV -ns)	150	200	250	300	450	150	200	250	300	450
Active Current (I <sub>CC</sub> -mA)	70	70	70	70	70	100	100	100	100	100

### General Description

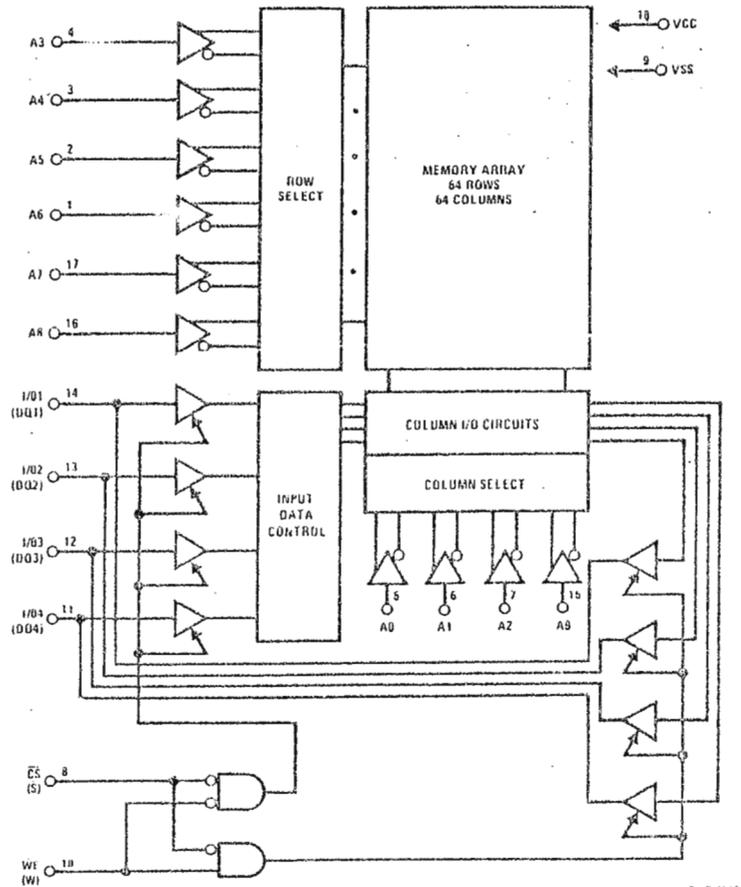
The MM2114 family of 1024-word by 4-bit static random access memories is fabricated using N-channel silicon gate technology. All internal circuits are fully static and therefore require no clocks or refreshing for operation. The data is read out nondestructively and has the same polarity as the input data. Common input/output pins are provided.

The separate chip select input ( $\overline{CS}$ ) allows easy memory expansion by OR-tying individual devices to a data bus.

### Features

- All inputs and outputs directly TTL compatible
- Static operation—no clocks or refreshing required
- Low power—225 mW typical
- High speed—down to 150 ns access time
- TRI-STATE<sup>®</sup> output for bus interface
- Common Data In and Data Out pins
- Single 5V supply
- Standard 18-pin dual-in-line package
- Available with MIL-STD-883 class B screening

### Block Diagram\*



\* Symbols in parentheses are proposed industry standard.

MM2114/MM2114L



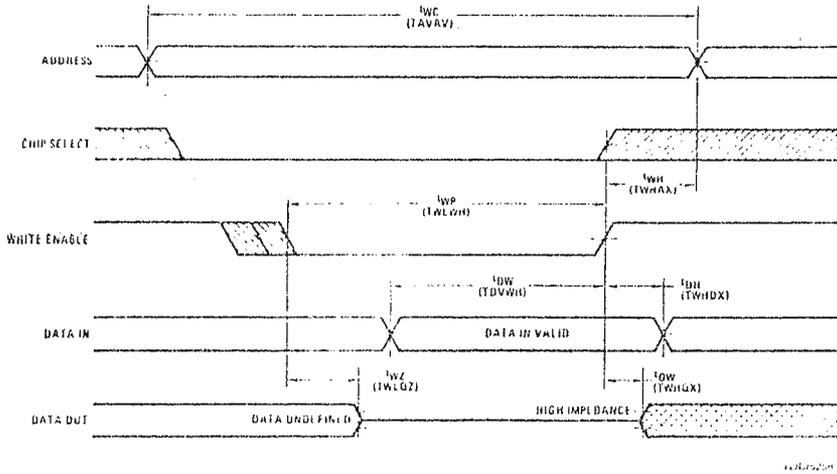
**Write Cycle AC Electrical Characteristics** (Note 3)  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5V \pm 5\%$

Symbol		Parameter	MM2114-15		MM2114-2		MM2114-25		MM2114-3		MM2114-L		Units
Alternate	Standard		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
$t_{WC}$	TAVAV	Write Cycle Time	150		200		250		300		450		ns
$t_{WP}$	TWLWH	Write Pulse Width	90		100		125		150		200		ns
$t_{WR}$	TWHAX	Write Recovery Time	0		0		0		0		0		ns
$t_{DW}$	TDVWH	Data Set-Up Time	90		100		125		150		200		ns
$t_{DH}$	TWHDX	Data Hold Time	0		0		0		0		0		ns
$t_{WZ}$	TWLQZ	Write Enable to Output TRI-STATE (Note 5)	0	40	0	40	0	60	0	80	0	100	ns
$t_{OW}$	TWHQX	Output Active from End of Write (WE) (Note 5)		80		80		90		100		120	ns

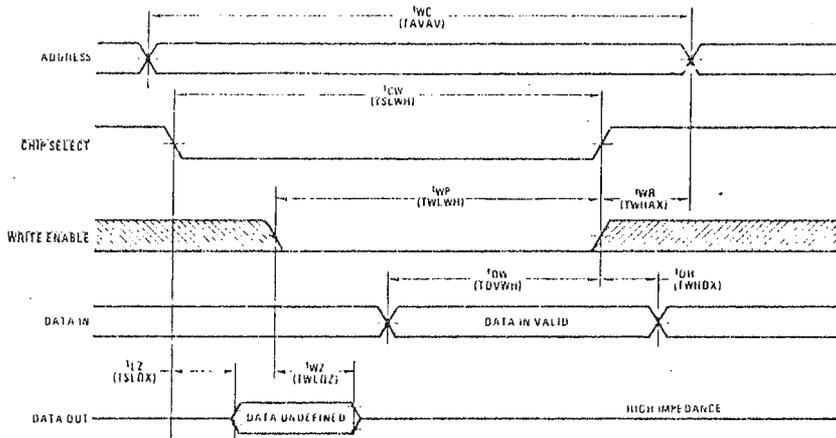
\* Symbols in parentheses are proposed industry standard.

**Write Cycle Waveforms\*** (Note 4)

Write Cycle 1 (Write Enable Limited)



Write Cycle 2 (Chip Select Limited)



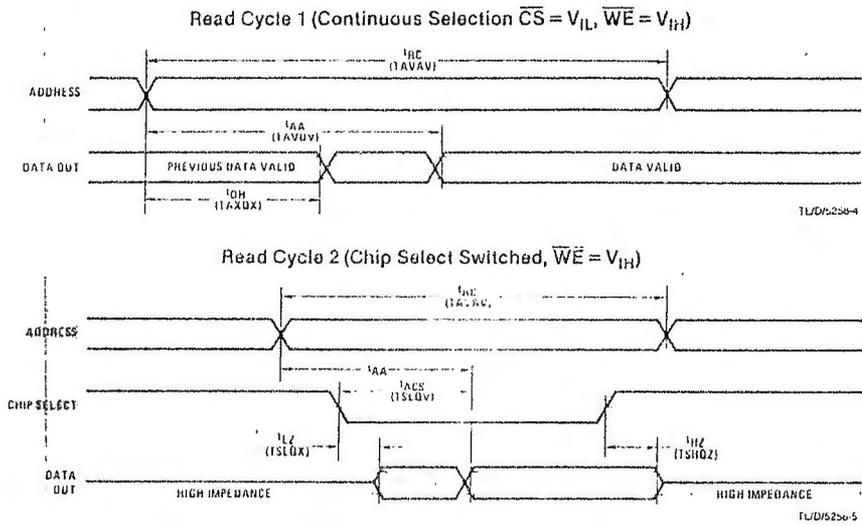
TUD1525H 3

MM2114/MM2114L

**Read Cycle AC Electrical Characteristics**  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 5\%$

Symbol		Parameter	MM2114-15 MM2114-15L		MM2114-2 MM2114-2L		MM2114-25 MM2114-25L		MM2114-3 MM2114-3L		MM2114 MM2114-L		Units
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
$t_{RC}$	TAVAV	Read Cycle Time ( $\overline{WE} = V_{IH}$ )	150		200		250		300		450		ns
$t_{AA}$	TAVQV	Address Access Time		150		200		250		300		450	ns
$t_{ACS}$	TSLQV	Chip Select Access Time		70		70		90		100		120	ns
$t_{LZ}$	TSLQX	Chip Select to Output Active (Note 5)	20		20		20		20		20		ns
$t_{HZ}$	TSHQZ	Chip Deselect to Output TRI-STATE (Note 5)	0	40	0	40	0	60	0	80	0	100	ns
$t_{OH}$	TAXQX	Output Hold from Address Change	15		10		10		10		10		ns

**Read Cycle Waveforms\***



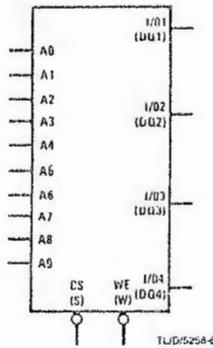
- Note 3: A write occurs during the coincidence low of  $\overline{CS}$  and  $\overline{WE}$ .
- Note 4: The output remains TRI STATE if the  $\overline{CS}$  and  $\overline{WE}$  go high simultaneously.  $\overline{WE}$  or  $\overline{CS}$  or both must be high during the address transitions.
- Note 5: Measured  $\pm 50$  mV from steady state voltage. This parameter is sampled and not 100% tested.

**DC Electrical Characteristics**  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 5\%$

Symbol	Parameter	Conditions	MM2114, MM2114-15, MM2114-2, MM2114-25, MM2114-3		MM2114-L, MM2114-15L, MM2114-2L, MM2114-25L, MM2114-3L		Units
			Min	Max	Min	Max	
$I_{LI}$	Input Load Current (All Input Pins)	$V_{IN} = 0\text{V}$ to $5.25\text{V}$	-10	10	-10	10	$\mu\text{A}$
$I_{LO}$	Output Leakage Current	$\overline{CS} = V_{IH}$ , $V_{OUT} = 0.4\text{V}$ to $4\text{V}$	-10	10	-10	10	$\mu\text{A}$
$V_{IL}$	Input Low Voltage		-0.5	0.8	-0.5	0.8	V
$V_{IH}$	Input High Voltage		2.0	$V_{CC}$	2.0	$V_{CC}$	V
$V_{OL}$	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2.1\text{ mA}$		0.4		0.4	V
$V_{OH}$	Output High Voltage	$I_{OH} = -1.0\text{ mA}$	2.4		2.4		V
$I_{CC}$	Power Supply Current	$V_{IN} = 5.25\text{V}$ , $T_A = 0^\circ\text{C}$ Outputs Open		100		70	mA

The symbols in parentheses are proposed industry standard.

Logic Symbol\*

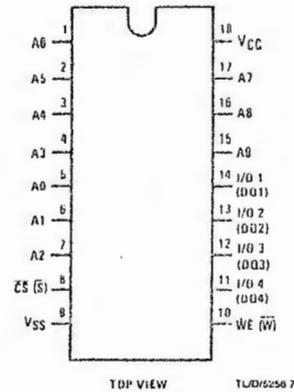


Pin Names\*

- A0-A9 Address Inputs
- $\overline{WE}$  (W) Write Enable
- $\overline{CS}$  (S) Chip Select
- I/O1-I/O4 (DQ1-DQ4) Data Input/Output

Connection Diagram\*

Dual-In-Line Package



Order Number MM2114N-15L, MM2114N-15,  
MM2114N-2L, MM2114N-2, MM2114N-3L,  
MM2114N-3, MM2114N-L or MM2114N  
NS Package Number N18A

Absolute Maximum Ratings

Voltage at Any Pin	- 0.5V to + 7V
Storage Temperature	- 65°C to + 150°C
Power Dissipation	1W
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	4.75	5.25	V
Ambient Temperature ( $T_A$ )	0	+ 70	°C

Capacitance  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $f = 1\text{ MHz}$  (Note 1)

Symbol	Parameter	Conditions	MM2114, MM2114-15, MM2114-2, MM2114-25, MM2114-3		MM2114-L, MM2114-15L, MM2114-2L, MM2114-25L, MM2114-3L		Units
			Min	Max	Min	Max	
$C_{IN}$	Input Capacitance	All Inputs $V_{IN} = 0V$		5		5	pF
$C_{OUT}$ (Note 2)	Output Capacitance	$V_O = 0V$		5		5	pF

Note 1: This parameter is guaranteed by periodic testing.

Note 2:  $C_{OUT}$  is max 10 pF for (J) package.

AC Test Conditions

Input Pulse Levels	0V to 3V	Output Load and Timing Levels	0.8V @ 2.1 mA + 100 pF
Input Rise and Fall Times	$\leq 10\text{ ns}$		2.0V @ - 1.0 mA + 100 pF
Input Timing Level	1.5V		

\*Symbols in parentheses are proposed industry standard.



**National Semiconductor**

# MM2716 16,384-Bit (2048 x 8) UV Erasable PROM

MM2716

Parameter/Order Number	MM2716	MM2716-1	MM2716E
Access Time (ns)	450	350	450
V <sub>CC</sub> Power Supply	5V ± 5%	5V ± 10%	5V ± 5%

## General Description

The MM2716 is a high speed 16k UV erasable and electrically reprogrammable EPROM, ideally suited for applications where fast turnaround and pattern experimentation are important requirements.

The MM2716 is packaged in a 24-pin dual-in-line package with transparent lid. The transparent lid allows the user to expose the chip to ultraviolet light to erase the bit pattern. A new pattern can then be written into the device by following the programming procedure.

This EPROM is fabricated with the reliable, high volume, time proven, N-channel MOS silicon gate technology.

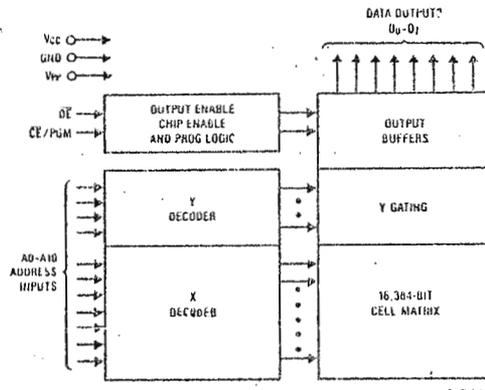
## Features

- ▣ Access time down to 350 ns
- ▣ Low power consumption
  - Active power: 525 mW max
  - Standby power: 132 mW max (75% savings)
- ▣ Single 5V power supply
- ▣ Extended temperature range available (MM2716E), -40°C to +85°C, 450 ns ± 5% power supply
- ▣ Pin compatible to National's higher density EPROMs
- ▣ Static--no clocks required
- ▣ TTL compatible inputs/outputs
- ▣ TRI-STATE<sup>®</sup> output

## Block and Connection Diagrams

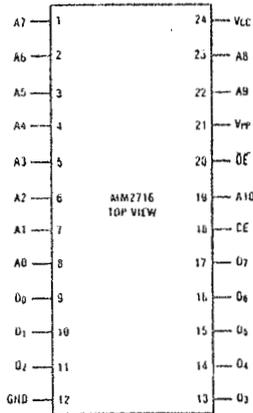
### Pin Names

Pin Name	Function
A0-A14	Addresses
CE	Chip Enable
OE	Output Enable
O <sub>0</sub> -O <sub>7</sub>	Outputs
PGM	Program
NC	No Connect



27C256 27256	27C128 27128	27C64 2764	27C32 2732
V <sub>PP</sub>	V <sub>PP</sub>	V <sub>PP</sub>	
A12	A12	A12	A7
A7	A7	A7	A7
A6	A6	A6	A6
A5	A5	A5	A5
A4	A4	A4	A4
A3	A3	A3	A3
A2	A2	A2	A2
A1	A1	A1	A1
A0	A0	A0	A0
O <sub>0</sub>	O <sub>0</sub>	O <sub>0</sub>	O <sub>0</sub>
O <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
GND	GND	GND	GND

### Dual-In-Line Package



27C32 2732	27C64 2764	27C128 27128	27C256 27256
	V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub>
	PGM	PGM	A14
	NC	A13	A13
	A8	A8	A8
	A9	A9	A9
	A11	A11	A11
	OE/V <sub>PP</sub>	OE	OE
	A10	A10	A10
	CE	CE	CE
	O <sub>7</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>7</sub>
	O <sub>6</sub>	O <sub>6</sub>	O <sub>6</sub>
	O <sub>5</sub>	O <sub>5</sub>	O <sub>5</sub>
	O <sub>4</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>4</sub>
	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>

NS Package Number J24A-Q

Note: National's socket compatible EPROM pin configurations are shown in the blocks adjacent to the MM2716 pins.

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

Temperature Under Bias	-10°C to +80°C
Storage Temperature	-65°C to +125°C
All Input or Output Voltages with Respect to Ground	+6.5V to -0.3V
V <sub>PP</sub> Supply Voltage with Respect to Ground During Program	+26.5V to -0.3V
Power Dissipation	1.5W
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

**Operating Conditions** (Note 9)

Temperature Range	MM2716, MM2716-1	0°C to +70°C
	MM2716E	-40°C to +85°C
V <sub>CC</sub> Power Supply (Notes 2 and 3)	MM2716, MM2716E	5V ± 5%
	MM2716-1	5V ± 10%
V <sub>PP</sub> Power Supply (Note 3)		V <sub>CC</sub>

**READ OPERATION****DC and Operating Characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 4)	Max	Units
I <sub>LI</sub>	Input Load Current	V <sub>IN</sub> = V <sub>CC</sub> or GND			10	μA
I <sub>LO</sub>	Output Leakage Current	V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub> or GND, $\overline{CE} = V_{IH}$			10	μA
I <sub>CC1</sub>	V <sub>CC</sub> Current (Standby)	$\overline{CE} = V_{IH}$		10	25	mA
I <sub>CC2</sub> (Note 3)	V <sub>CC</sub> Current (Active)	$\overline{OE} = \overline{CE} = V_{IL}, I/O = 0$ mA		57	100	mA
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage		-0.1		0.8	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage		2.0		V <sub>CC</sub> + 1	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OL</sub> = 2.1 mA			0.45	V
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OH</sub> = -400 μA	2.4			V

**AC Characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	MM2716E MM2716		MM2716-1		Units
			Min	Max	Min	Max	
t <sub>ACC</sub>	Address to Output Delay	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$		450		350	ns
t <sub>CE</sub>	$\overline{CE}$ to Output Delay	$\overline{OE} = V_{IL}$		450		350	ns
t <sub>OE</sub>	Output Enable to Output Delay	$\overline{CE} = V_{IL}$		120		120	ns
t <sub>DF</sub>	Output Enable High to Output Float	$\overline{CE} = V_{IL}$	0	100	0	100	ns
t <sub>OH</sub> (Note 5)	Output Hold from Addresses, $\overline{CE}$ or $\overline{OE}$ , Whichever Occurred First	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$	0		0		ns

**Capacitance** (Note 5) (T<sub>A</sub> = +25°C, f = 1 MHz)

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Units
C <sub>IN</sub>	Input Capacitance	V <sub>IN</sub> = 0V	4	6	pF
C <sub>OUT</sub>	Output Capacitance	V <sub>OUT</sub> = 0V	8	12	pF

**AC Test Conditions**

Output Load	1 TTL Gate and C <sub>L</sub> = 100 pF
Input Rise and Fall Times	≤ 20 ns
Input Pulse Levels	0.8V to 2.2V
Timing Measurement Reference Level	
Inputs	1V and 2V
Outputs	0.8V and 2V

**PROGRAMMING CHARACTERISTICS** (Note 1)**DC Programming Characteristics** (Notes 2 and 3) ( $T_A = +25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 5\%$ ,  $V_{PP} = 25\text{V} \pm 1\text{V}$ )

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$I_{LI}$	Input Current (for Any Input)	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND			10	$\mu\text{A}$
$I_{PP}$	$V_{PP}$ Supply Current During Programming Pulse	$\overline{CE}/\text{PGM} = V_{IH}$			30	mA
$I_{CC}$	$V_{CC}$ Supply Current				100	mA
$V_{IL}$	Input Low Level		-0.1		0.8	V
$V_{IH}$	Input High Level		2.0		$V_{CC} + 1$	V

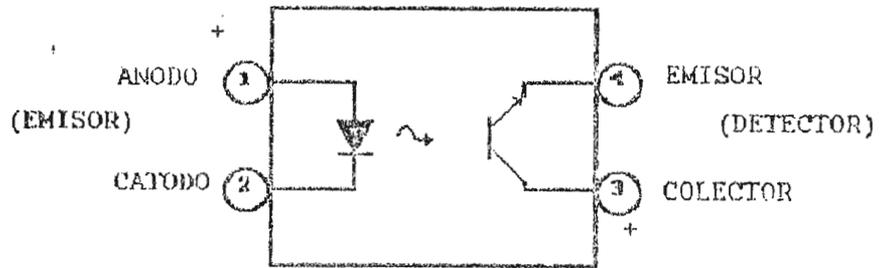
**AC Programming Characteristics** (Notes 2 and 3) ( $T_A = +25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 5\%$ ,  $V_{PP} = 25\text{V} \pm 1\text{V}$ )

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{AS}$	Address Set-Up Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OES}$	$\overline{OE}$ Set-Up Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DS}$	Data Set-Up Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{AH}$	Address Hold Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OEH}$	$\overline{OE}$ Hold Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DH}$	Data Hold Time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DF}$	Output Enable to Output Float Delay	$\overline{CE}/\text{PGM} = V_{IL}$	0		160	ns
$t_{OE}$	Output Enable to Output Delay	$\overline{CE}/\text{PGM} = V_{IL}$			160	ns
$t_{PW}$	Program Pulse Width		45	50	55	ms
$t_{PRT}$	Program Pulse Rise Time		5			ns
$t_{PFT}$	Program Pulse Fall Time		5			ns

**AC Test Conditions**

$V_{CC}$	$5\text{V} \pm 5\%$
$V_{PP}$	$25\text{V} \pm 1\text{V}$
Input Rise and Fall Times	$\leq 20\text{ns}$
Input Pulse Levels	0.8V to 2.2V
Timing Measurement Reference Level	
Inputs	1V and 2V
Outputs	0.8V and 2V

OPTOCUPLA  
H1301



Transistor NPN

$P_c$  (mW) = 250

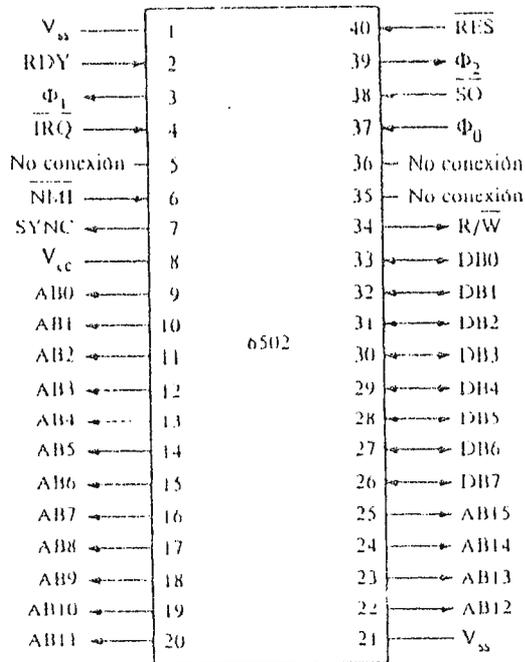
$V_{CE0}$  (V) = 55

$I_c$  (mA) = 100

Parametros del LED

$I_f$  (mA) = 60

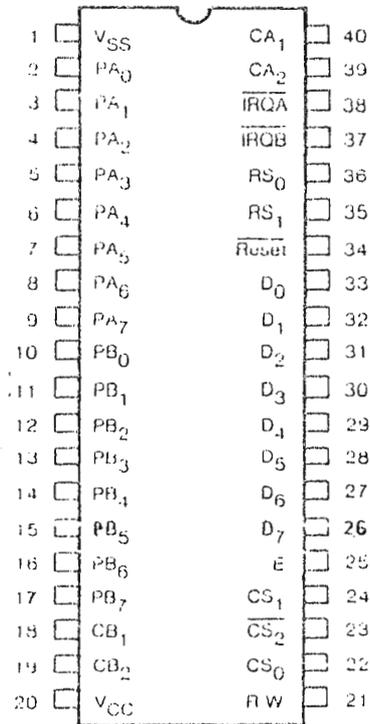
$V_R$  (V) = 6



(a) Diagrama de patillas de la MPU 6502 CI DIP

Nombres de las patillas	Descripción	Tipo
AB0-AB15	Bus de direcciones	Salida
DB0-DB7	Bus de datos	Triestado, bidireccional
RDY	Control listo	Entrada
$\Phi_1, \Phi_2$	Reloj (al sistema)	Salida
TRQ	Petición de interrupción	Entrada
SYNC	Identifica ciclo de búsqueda de código de op.	Entrada
R/W	Lectura/escritura	Salida
$\Phi_0$	Reloj de CPU	Salida
SO	Pone a 1 señalizador de overflow	Entrada
RES	Reinicialización	Entrada
NMI	Interrupción no enmascarable	Entrada
V <sub>cc</sub> , V <sub>ss</sub>	Alimentación	

(b) Nombres y funciones de las patillas



Pin Assignments for  
Peripheral Interface Adapter 6821  
(Redrawn from data sheet for  
MC6821 PIA with permission.  
Motorola Incorporated, Phoenix, AZ)

## BIBLIOGRAFIA

- BONILLA, G., Métodos Prácticos de Interferencia Estadística, UCA Editores. San Salvador, 1986.
  
- CARR, J., et al, Introduction to Biomedical Equipment Technology, Ed. John Willey & Sons Inc. New York, 1981.
  
- FRIDWELL, L., et al, Instrumentación y Medidas Biomédicas, Marcoabo Editores S. A. Barcelona, 1986.
  
- DRISCOLL, F., Microprocesadores: Microcomputer Technology, Becton Inc. New York, 1989.
  
- GUYTON, A., Tratado de Fisiología Médica, Décima edición. Interamericans. México, 1971.
  
- MELENDEZ, M., Como Preparar el Anteproyecto de Investigación y la Tesis de Graduación, Ediciones Myssa. San Salvador, 1991.
  
- MORRIS, C., Diseño con Circuitos Integrados TTL, Editorial Continental, S. A. México, 1989.
  
- RULHMER, R., Anatomía y Fisiología del Sistema Cardiovascular, Editorial Interamericana. México, s/f.
  
- SAVANT, C., et al, Electronic Design. Circuits and Systems, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, 1991.
  
- SCHILLING, D., Circuitos Electrónicos, Discretos e Integrados, Publicaciones Marcoabo, S. A. Barcelona, 1985.

- STRANGIO, C., Electrónica Digital, Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. México, 1989.
- STREETER, V., Mecánica de los Fluidos, Ed. McGraw-Hill. México, 1987.
- TORHEIM, R., Fundamentos de los Microprocesadores, Editorial McGraw-Hill. México, 1991.
- VARIOS, Diccionario Enciclopédico Quillet, Editorial Argentina Aristides Quillet, S. A. Buenos Aires, 1968.
- VARIOS, Manual de Operación y Servicio de la Máquina Corazón-Pulmón, Modelo 5000, Sarns Inc. Michigan, s/r.
- VARIOS, Webster's II, New Riverside Dictionary, Berkley Books. New York, 1984.
- VARIOS, (Comunicación Personal) Entrevistas Efectuadas a Personal Relacionado con las Bombas de Perfusion Extracorpórea. Hospital Medico Quirúrgico, ISSS. San Salvador.
- VARIOS, ECG Semiconductor Master Replacement Guide, Philips ECG, Inc. Pasadena, 1989.
- VARIOS, Linear Circuits Data Book, Texas Instruments, Inc. Dallas, 1987.
- VARIOS, The TTL Logic Data Book, Texas Instruments, Inc. Dallas, 1988.

## GLOSARIO TECNICO

**ABSORCION CELULAR:** Fenómeno fisicoquímico gracias al cual diversas sustancias se incorporan a la célula atravesando su membrana; con el fin de proporcionar los elementos necesarios para su metabolismo.

**ALVELOS PULMONARES:** Dilataciones en forma de sacos en las que terminan los bronquiolos más pequeños, a través de cuyas paredes se efectúan los intercambios gaseosos entre la sangre y el aire respirado.

**AMPLIFICADOR OPERACIONAL (OP AM):** Dispositivo electrónico analógico destinado a amplificar, reproducir o disminuir la amplitud de una señal eléctrica de frecuencia dada.

**ANASTOMOSIS:** Unión de las ramificaciones últimas de los vasos sanguíneos, ya sea directamente o mediante un tercer, o más, una especie de retícula.

**BOMBA PERISTALTICA:** Mecanismo que impulsa un fluido gracias a la compresión ejercida por un rodillo giratorio a una tubería flexible contra una pared rígida, forzando a que el fluido se mueva delante de la parte comprimida.

**CAPILARES:** Nombre con que se designa a las más pequeñas ramificaciones vasculares, sanguíneas y linfáticas; cuyas paredes están constituidas de una sola capa endotelial, a través de la cual la sangre se pone en contacto con la intimidad de los tejidos.

**CIANOSIS:** Coloración azulada de los órganos o tejidos, debida a un exceso en la sangre de hemoglobina no oxigenada.

**CODIFICADOR DIGITAL:** Sistema digital que transforma una o varias señales a un código preestablecido para su posterior manejo.

**CONDUCTIVIDAD:** propiedad de un material o una sustancia en conducir con facilidad el flujo de una corriente eléctrica.

**DIASTOLE:** periodo del ciclo cardiaco que corresponde al lleno del corazón por la sangre que llega de las venas cavas y pulmonares.

**DISTENSION DE LOS VASOS SANGUINEOS:** acción y efecto de ejercer tensiones grandes en las paredes basales.

**EFECTO DOPPLER:** fenómeno en el que se altera la frecuencia de una vibración mecánica debido al choque de esta con un objeto en movimiento.

**ESPECTROFOTOMETRIA:** medición de la absorción de la luz de una sustancia líquida a diversas longitudes de onda.

**EXCRECION CELULAR:** fenómeno físico-químico mediante el cual la célula rechaza las sustancias residuales hacia el exterior a través de su membrana.

**FLUXOMETRO:** aparato que sirve para medir la velocidad de circulación de un líquido, mediante la cual se determina posteriormente el caudal del líquido circulante.

**GRADIENTE DE PRESION:** relación de la diferencia de la presión barométrica entre dos puntos.

**HEMOGLOBINA:** materia colorante del glóbulo rojo de la sangre por la cual es transportado el oxígeno del aire al interior de los tejidos.

**HEMOLISIS:** fenómeno caracterizado por la salida de la hemoglobina contenida en el glóbulo rojo hacia el plasma.

**HIPERTROFIA:** aumento del tamaño de un órgano o tejido por exageración de las dimensiones de cada uno de los elementos que los constituyen.

**INSERTO:** pequeña pieza mecánica que admite un único diámetro de manguera en el cabezal de las bombas de perfusión y que puede cambiarse para seleccionar un diámetro distinto.

**MEMORIA RAM:** unidad digital en la cual es posible escribir y leer datos de una manera temporal; desapareciendo la información contenida al desenergizar.

**MEMORIA ROM:** unidad digital en la cual únicamente es posible leer datos colocados previamente por un proceso especial y de naturaleza inborrable. Se utiliza normalmente para almacenar el programa de inicio de los sistemas microprocesados.

**MICROPROCESADOR:** circuito de muy alta escala de integración que realiza las tareas de la unidad central de tratamiento de una microcomputadora u otro sistema de control automático.

**MULTIVIBRADOR ASTABLE:** dispositivo electrónico digital que genera un tren de pulsos continuo y de una frecuencia preestablecida por elementos pasivos externos.

**MULTIVIBRADOR MONOESTABLE:** dispositivo electrónico digital que genera en su salida un estado lógico alto con una duración preestablecida por elementos pasivos externos a partir de una señal externa de disparo.

**MULTIPLÉXOR:** elemento electrónico que permite la transmisión de varias señales a una sola línea de salida en el que la señal transmitida en un momento dado, será la escogida por las entradas de selección del mismo.

**NECROSIS:** muerte de células aisladas, de tejidos, de partes de órganos o de órganos completos; en oposición a la muerte general o de todo el organismo.

**OPTOACOPLADOR:** dispositivo electrónico que reproduce una señal eléctrica en su salida; la cual se encuentra aislada eléctricamente de la señal de entrada gracias a las características de sensibilidad luminica de sus componentes.

**PERFUSION:** acción de forzar un líquido a través de un órgano o tejido, especialmente por medio de los vasos sanguíneos.

**PLETISMOGRAFO:** registrador de las variaciones volumétricas que experimenta una porción del cuerpo por efecto de la irrigación sanguínea.

**SISTOLE:** período del ciclo cardíaco durante el cual se contraen las cavidades del corazón expulsando la sangre contenida en su interior y produciendo la circulación sanguínea.

**TRANSDUCTOR:** dispositivo capaz de transformar una forma de energía o señal en otra. Se emplea generalmente para producir una señal eléctrica que es una analogía del fenómeno que se mide.

**TREN DE PULSOS:** señal electrónica digital en la cual solo se encuentran dos niveles de voltaje (alto y bajo) con una frecuencia y ciclo de trabajo preestablecidos.

**TACOMETRO:** instrumento que sirve para medir la velocidad angular de un eje o un objeto en rotación.

**VENTURIMETRO:** aparato para medir la velocidad de un líquido circulante.

**TTL:** tecnología de fabricación de circuitos digitales que se basa en la función del transistor bipolar como interruptor.