

104 2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## SISTEMA PROBADOR DE TABLETAS MEDICAS PSI.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

GRACIANO PATIÑO ARROYO  
RAUL SANTOYO DELGADO

Director de Tesis: Ing. Roberto Mandujano Wild



México, D. F.

1990



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

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

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

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

**Sistema probador de tabletas médicas  
PS I**

**INDICE**

**PROLOGO**

**INTRODUCCION**

**CAPITULO 1 El control de calidad en la  
industria químico-farmacéutica**

1.1.	Introducción .....	1.1
1.2.	Control del proceso .....	1.2
1.2.1.	Fuentes de variación de calidad ...	1.2
1.3.	Control de calidad estadístico .....	1.6
1.3.1.	Distribución normal de frecuencia .	1.6
1.3.2.	Gráficas de control de calidad ....	1.9
1.3.3.	Muestreo y planeación del muestro .	1.10
1.4.	Control del medicamento .....	1.11
1.4.1.	Especificaciones .....	1.11
1.5.	Bibliografía .....	1.14

**CAPITULO 2 La industria farmacéutica y la  
fabricación de tabletas**

2.1.	Introducción .....	2.1
2.2.	¿Qué es una tableta? .....	2.3
2.2.1.	Tabletas elaboradas por compresión	2.4
2.2.2.	Tabletas elaboradas por moldeo ....	2.6
2.3.	Elementos comúnmente encontrados en una tableta .....	2.6
2.3.1.	Agentes que permiten la compresión	2.9
2.3.2.	Agentes que imparten caracterís- ticas físicas adicionales a las tabletas .....	2.10
2.4.	Características de las tabletas y sus pruebas .....	2.11
2.4.1.	Espesor .....	2.12

2.4.2.	Peso .....	2.13
2.4.3.	Dureza .....	2.14
2.4.4.	Desintegración .....	2.17
2.4.5.	Disolución .....	2.18
2.5.	Bibliografía .....	2.19

### **CAPITULO 3      Características de los equipos comerciales**

3.1.	Introducción .....	3.1
3.2.	La industria químico-farmacéutica en México .....	3.2
3.3.	Las características medidas y los parámetros empleados .....	3.4
3.3.1.	Espesor .....	3.5
3.3.2.	Dureza .....	3.6
3.4.	El equipo usado .....	3.6
3.5.	Bibliografía .....	3.10

### **CAPITULO 4      Transductores**

4.1.	Introducción .....	4.1
4.2.	Concepto de transductor .....	4.3
4.3.	Función de los transductores en la instrumentación .....	4.4
4.4.	Clasificación de los transductores ...	4.4
4.4.1.	Transductores resistivos .....	4.5
4.4.2.	Transductores magnéticos .....	4.9
4.4.3.	Transductores capacitivos .....	4.13
4.4.4.	Termopares .....	4.14
4.4.5.	Transductores piezoeléctricos ....	4.14
4.4.6.	Transductores electroquímicos ....	4.15
4.4.7.	Transductores de semiconductor ...	4.16
4.5.	Elementos considerados en el diseño ..	4.22
4.5.1.	Dureza .....	4.22
4.5.2.	Espesor .....	4.24
4.6.	Bibliografía .....	4.26

## **CAPITULO 5            Caracterización del diseño**

5.1.	Introducción .....	5.2
5.2.	Sistema maestro .....	5.3
5.2.1.	El hardware del sistema maestro ...	5.4
5.2.2.	El software del sistema maestro ...	5.11
5.2.2.1.	Reset y autopurueba .....	5.12
5.2.2.2.	Modo normal de trabajo .....	5.19
5.2.2.3.	Modo calibración de trabajo ....	5.19
5.2.2.4.	Rutina de estadísticas .....	5.25
5.2.2.5.	Rutina de gráficas .....	5.26
5.2.2.6.	Impresión .....	5.30
5.2.2.7.	Errores .....	5.36
5.2.2.8.	Rutinas aritméticas básicas ....	5.43
5.2.2.9.	Rutina de raíz cuadrada .....	5.46
5.2.2.10.	Rutinas de factor de corrección .	5.51
5.2.2.11.	Rutinas para la obtención de factores .....	5.52
5.3.	Bibliografía .....	5.53

## **CAPITULO 6            Durómetro**

6.1.	Celda de carga .....	6.2
6.1.1.	Características de la celda de carga .....	6.3
6.1.2.	Caracterización de la celda de carga .....	6.6
6.2.	Bloque mecánico .....	6.9
6.3.	Bloque analógico .....	6.14
6.3.1.	Etapas de amplificación .....	6.14
6.3.2.	Filtro paso bajas .....	6.16
6.4.	Bloque de potencia .....	6.18
6.5.	Bloque digital e interconexión final .	6.18
6.5.1.	Configuración del microcontrolador	6.19
6.5.2.	Diagramas de flujo del programa ...	6.23
6.6.	Bibliografía .....	6.28

## **CAPITULO 7      Medidor de espesor**

7.1.	Bloque sensor de posición .....	7.2
7.1.1.	Características del transductor de efecto Hall .....	7.3
7.1.2.	Características de los imanes permanentes .....	7.7
7.1.3.	Caracterización del bloque sensor de posición .....	7.10
7.2.	Bloque mecánico .....	7.13
7.2.1.	Características del interruptor de estado sólido operado mecánicamente .....	7.15
7.3.	Bloque analógico .....	7.17
7.3.1.	Eta pa inversora de señal .....	7.17
7.3.2.	Filtro paso bajas .....	7.18
7.4.	Bloque de potencia .....	7.19
7.5.	Bloque digital e interconexión final .	7.21
7.5.1.	Configuración del microcontrolador	7.22
7.5.2.	Diagramas de flujo del programa ...	7.26
7.6.	Bibliografía .....	7.33

## **CONCLUSIONES**

<b>APENDICE A</b>	<b>Recomendaciones para el diseño de circuitos electrónicos</b>
<b>APENDICE B</b>	<b>Distribuidores de celdas de carga</b>
<b>APENDICE C</b>	<b>Distribuidores de motores y transmisiones de potencia</b>
<b>APENDICE D</b>	<b>Características de los amplificadores operacionales</b>
<b>APENDICE E</b>	<b>Distribuidores de transductores de efecto Hall</b>
<b>APENDICE F</b>	<b>Mecanismo macrométrico del medidor de espesor</b>

**APENDICE G      Herramientas de hardware y software  
                         utilizadas**

**APENDICE H      Diagramas del durómetro, medidor de  
                         espesor y sistema maestro**

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Fibrilador de Roche .....	2.16
4.1	Elementos funcionales de un sistema de medición .....	4.2
4.2	Algunas formas de strain gages .....	4.7
4.3	Partes de un LDVT .....	4.10
4.4	Corte de un LDVT .....	4.11
4.5	Configuraciones de un LVRT .....	4.12
4.6	Arreglo de un conjunto de discos de cuarzo .....	4.16
4.7	Principio de efecto Hall sin campo magnético .....	4.17
4.8	Principio de efecto Hall con campo magnético .....	4.18
4.9	Estructura de un transductor de efecto Hall .....	4.21
5.1	Rutina de reset .....	5.17
5.2	Rutina de reset (continuación) .....	5.18
5.3	Rutina modo normal de trabajo .....	5.20
5.4	Rutina modo normal de trabajo (continuación) .....	5.21
5.5	Rutina modo de calibración de trabajo ..	5.23
5.6	Rutina modo de calibración de trabajo (continuación) .....	5.24
5.7	Rutina de estadísticas .....	5.27
5.8	Rutina de estadísticas (continuación 1) ..	5.28
5.9	Rutina de estadísticas (continuación 2) ..	5.29
5.10	Rutina de gráficas .....	5.31
5.11	Rutina de gráficas (continuación 1) ....	5.32
5.12	Rutina de gráficas (continuación 2) ....	5.33
5.13	Rutina de impresión .....	5.34
5.14	Rutina de impresión (continuación 1) ...	5.35
5.15	Rutina de raíz cuadrada .....	5.48
5.16	Rutina de raíz cuadrada (continuación 1) ..	5.49
5.17	Rutina de raíz cuadrada (continuación 2) ..	5.50
6.1	Celda de carga .....	6.3
6.2	Gráfica de voltaje de salida vs. peso ..	6.8
6.3	Cremallera y piñón .....	6.10

6.4	Esquema general del durómetro .....	6.12
6.5	Vista lateral del pistón de compresión .	6.13
6.6	Amplificador de instrumentación .....	6.15
6.7	Filtro paso bajas. Retroalimentación múltiple .....	6.16
6.8	Diagrama de bloques del durómetro .....	6.20
6.9	Diagrama de flujo programa durómetro ...	6.24
6.10	Diagrama de flujo programa durómetro (continuación 1) .....	6.25
6.11	Diagrama de flujo programa durómetro (continuación 2) .....	6.26
6.12	Diagrama de flujo programa durómetro (continuación 3) .....	6.27
7.1	Configuración frontal bipolar con referencia .....	7.2
7.2	Diagrama de bloques del 91SS12-2 .....	7.4
7.3	Función de transferencia del transductor de efecto Hall .....	7.6
7.4	Curva distancia vs. voltaje de salida acondicionado .....	7.12
7.5	Estructura mecánica del medidor de espesor .....	7.14
7.6	Amplificador operacional con referencia	7.19
7.7	Filtro paso bajas. Retroalimentación múltiple .....	7.20
7.8	Puente "H" .....	7.21
7.9	Diagrama de bloques del medidor de espesor .....	7.23
7.10	Diagrama de flujo del programa .....	7.27
7.11	Diagrama de flujo del programa (continuación 1) .....	7.28
7.12	Diagrama de flujo del programa (continuación 2) .....	7.29
7.13	Diagrama de flujo del programa (continuación 3) .....	7.30
7.14	Diagrama de flujo del programa (continuación 4) .....	7.31
7.15	Diagrama de flujo del programa (continuación 5) .....	7.32

## LISTA DE TABLAS

1.1	Fuentes potenciales de error .....	1.3
1.2	Divisores D .....	1.9
1.3	Recomendaciones oficiales para la industria químico-farmacéutica .....	1.12
2.1	Variaciones de peso aceptadas para las tabletas .....	2.14
5.1	Configuración del puerto C .....	5.6
5.2	Errores relativos a la memoria CMOS ....	5.8
5.3	Referencia para errores de las teclas ..	5.16
5.4	Errores fatales y de aviso .....	5.40
6.1	Características de la celda de carga ...	6.5
6.2	Valores significativos de la celda de carga .....	6.7
6.3	Configuración del puerto B .....	6.21
6.4	Errores del durómetro .....	6.22
7.1	Máximos absolutos del 91SS12-2 .....	7.5
7.2	Características eléctricas del 91SS12-2 .....	7.5
7.3	Características magnéticas del 91SS12-2 .....	7.6
7.4	Características del imán .....	7.8
7.5	Características teóricas del transductor	7.10
7.6	Características experimentales del transductor .....	7.11
7.7	Especificaciones eléctricas interruptor de estado sólido .....	7.15
7.8	Especificaciones mecánicas interruptor de estado sólido .....	7.16
7.9	Configuración del puerto B .....	7.24
7.10	Lógica de las señales estado y dato listo .....	7.25
7.11	Errores del medidor de espesor .....	7.26

## Prólogo

Quien hace puede equivocarse, quien nada hace ya está equivocado.<sup>1</sup>

Es imposible pensar como podría el hombre avanzar en su búsqueda de la verdad, sin antes detenerse y ver sus errores y los errores cometidos por los demás. El desarrollo siempre ha sido un avanza y un detente, un trabaja y un piensa.

Gracias ha esa capacidad que tiene el hombre de asimilar sus propios errores<sup>2</sup>, para después llamarlos experiencia<sup>3</sup>, es como ha sido posible perfeccionar cada una de las cosas que nos rodea. Pero también se debe a la obstinación y a la particularidad de muchos hombres y mujeres que se enfrentan a su tiempo para tratar de moldearlo un poco más.

Nosotros no nos consideramos investigadores o inventores, por el momento, pero si somos ingenieros capaces de resolver cualquier problema con trabajo, estudio y dedicación.

Con este trabajo tratamos de conocer el "oficio" de ser diseñador, reafirmamos que la mejor arma para enfrentar cualquier problema es el trabajo constante, lógico, metódico y estructurado, ya que este genera la solución de manera espontánea. También observamos que no se puede resolver cosa alguna sin antes haberla

- 
- 1) CITADO POR DANIEL KON EN NUEVAS LIBRERIAS DE JOSE
  - 2) AUNQUE TAMBIEN SE DICE QUE EL HOMBRE ES EL UNICO ANIMAL QUE TROPIEZA DOS VECES CON LA MISMA PIEDRA (¿CUALIDAD O DEFECTO?)
  - 3) CURIOSAMENTE SIEMPRE UN ERROR ANTECEDE A UNA EXPERIENCIA Y NO VICEVERSA

comprendido claramente, ya que allí, se encuentra la mitad de la solución.

# INTRODUCCION

---

---

La electrónica ha invadido todas las actividades del hombre, para dejar de ser un sueño y convertirse en una realidad. Hoy en día gran cantidad de los procesos repetitivos y rutinarios que realiza el hombre, son ahora encargados a robots para su ejecución. Estos mecanismos por el momento, tienden a realizar todas las operaciones mecánicas que hace el hombre, permitiéndole dedicar su mayor esfuerzo a la interpretación de los resultados.

Con el prototipo expuesto en esta tesis, se trata de automatizar el proceso de medición de dureza y espesor de una tableta médica.

Para la creación del sistema PS I se realizaron un conjunto de investigaciones relacionadas con las tabletas, con los equipos normalmente empleados, con el control de calidad, etc., para idear los mecanismos a emplear.

Durante las investigaciones se observó, con mayor claridad, que existen muchos problemas no directamente relacionados con los sistemas

digitales que la electrónica puede resolver con relativa facilidad, y que son poco abordados por la investigación debido a que requieren de un desarrollo multidisciplinario para realizar un producto de aceptable calidad y cualidades. El desarrollo multidisciplinario es indispensable en cualquier proyecto que presuma de ser bueno, ya que es imposible que en la actualidad existan individuos que dominen varias ramas del saber humano.

Con respecto al desarrollo del escrito, este sigue la secuencia empleada en las investigaciones, es así que el capítulo uno aborda el tema del control de calidad en la industria químico-farmacéutica y su importancia dentro del proceso de producción de cualquier producto y en especial de las tabletas. Entendiendo la necesidad del control de calidad se fundamenta la fabricación de un instrumento que permita realizar ese control en forma más eficiente, rápida y automatizada, eliminando por completo el error humano; además se empiezan a definir algunas de las características mínimas deseables que debe tener cualquier equipo utilizado para estos fines.

El capítulo dos explica lo que son las tabletas, cómo se fabrican, qué tipos existen, cuáles son las pruebas que normalmente se realizan, etc.. Mediante estas lecturas e investigaciones se intenta conocer lo que la industria químico-farmacéutica entiende por tableta, y sobre los trabajos y pruebas que normalmente realiza entorno a ellas. Con estos fundamentos se contestan algunas dudas relacionadas con las variables físicas a medir (precisión, exactitud, rango, unidades, resolución, etc.).

En el capítulo tres se mencionan algunas impresiones sobre los equipos que actualmente se están utilizando para realizar la medición de las

variables físicas en cuestión. También se habla de las visitas realizadas a varios laboratorios farmacéuticos, con el fin de certificar los parámetros determinados durante las investigaciones.

Al tener perfectamente definidos los parámetros requeridos es posible abocarse a la tarea de buscar los transductores adecuados para el proyecto. Dentro de las características requeridas se tienen las determinadas por el capítulo tres, así como bajo costo, facilidad de uso y repetitividad.

Lo anterior da pie al capítulo cuatro, en donde se presenta una de las muchas clasificaciones que existen sobre los transductores; para posteriormente enfocarse en aquellos recomendados para medir fuerza y distancia, con el fin de analizar las ventajas, desventajas y aplicación de cada uno de ellos.

Por último en los capítulos cinco, seis y siete se explican las diversas partes que conforman al sistema PS I. Se mencionan las características de hardware y software de cada uno de los módulos, así como las consideraciones tomadas en cuenta para realizar decisiones de diseño. Se presentan diagramas de bloques y de flujo para dar una mejor idea de la estructura del sistema.

Gran parte de la información presentada fue obtenida mediante pruebas exclusivamente realizadas para este diseño, por lo que en esos casos no se hace referencia a ningún manual o autor.

# CAPITULO

## 1

---

# EL CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA QUIMICO FARMACEUTICA

---

### 1.1. Introducción

La manera como se lleva a cabo el control de calidad se encuentra estrechamente relacionado con el diseño planteado durante el proceso de experimentación. En este diseño se tienen en cuenta las características físico-químicas de los materiales involucrados en el medicamento (dosis), así como el proceso apropiado de manufactura para el producto.

Debe ser claramente entendido que la industria farmacéutica tiene la obligación de diseñar, probar y producir medicamentos que suministren al consumidor productos que tengan los atributos de calidad, pureza, uniformidad de contenido, estabilidad, seguridad y disponibilidad fisiológica requeridos. Dichos requerimientos necesitan que el personal corporativo de dicha industria se involucre totalmente con un sistema formal de revisión y balanceo.

## **1.2. Control del proceso**

En una compañía farmacéutica, el grupo de certificación de calidad interviene en muchas de las fases de producción, con el fin de obtener un producto de máxima calidad. Sus funciones incluyen el monitorear reportes, procedimientos, sistemas, facilidades, membretes y personal; así como realizar pruebas y análisis a los medicamentos. En el caso concreto de las tabletas tenemos dureza, friabilidad, disolución, espesor, desintegración, peso, color y análisis.

El personal de certificación de calidad puede ser parte del departamento de control de calidad o trabajar en forma independiente y reportar a su supervisor. Sin embargo, no puede ser parte integral de la unidad de producción por razones obvias. Por esta razón, en la unidad de producción se llevan controles de calidad independientes a los mencionados.

### **1.2.1. Fuentes de variación de calidad**

La diversidad de drogas y medicamentos producidos, el tamaño y complejidad de la operación, así como los procesos y equipos utilizados varían de compañía a compañía. La manufactura de productos farmacéuticos frecuentemente incluye una serie de operaciones de procesos sucesivos y cada una de estas operaciones tiene influencia en la calidad del producto final. Pueden ocurrir serios errores en cualquier momento, desde la recepción de las materias primas, pasando por las diferentes etapas de manufactura y empaquetamiento, hasta la aceptación final del producto. El riesgo de error se incrementa a medida que aumenta el número de materiales involucrados en la formulación, el proceso se vuelve más complejo y la operación se vuelve más larga. Los errores potenciales que de

manera general son fuente de variación de la calidad se encuentran listados en la tabla 1.1.

Fuente de Variación	Ejemplo
1. Materiales:	
a. Variación entre los distribuidores de la misma sustancia.	
b. Variación entre lotes del mismo distribuidor.	
c. Variación dentro de un lote.	
2. Máquinas:	
a. Variación del equipo para un mismo proceso.	
b. Diferencia en el ajuste del equipo.	
c. Deterioro y mantenimiento deficiente.	
3. Métodos:	
a. Procedimientos inexactos.	
b. Procedimientos inadecuados.	
c. Negligencia accidental.	
4. Error humano:	
a. Condiciones inapropiadas de trabajo.	
b. Entendimiento y entrenamiento inadecuado.	
c. Falta de interés y motivación.	

Tabla 1.1 Fuentes potenciales de error.

Para minimizar y eliminar algunos de estos peligros se necesitan realizar las siguientes acciones:

a) Control de material

Los materiales a ser controlados son aquellos que aparecen como parte física del medicamento, incluyendo el empaquetado y aquellos que no forman parte del medicamento final pero son utilizados en su manufactura, como son granuladores y cubiertas solventes. Las drogas (sustancias), excipientes, materiales de empaquetado y material impreso caen dentro de esta categoría.

b) Buena práctica de manufactura

Este apartado se refiere a la utilización de regulaciones existentes en la industria farmacéutica para el proceso de manufactura, las cuales afectan el personal, el equipo, el diseño de los edificios, el control de registros y los procedimientos de producción.

Se menciona que las características generales que debe de cumplir un equipo son:

- Tamaño adecuado, funcionamiento preciso y reproducible.
- La superficie debe ser inerte, no reactiva, no absorbente y no aditiva, de manera que no afecte la naturaleza de los materiales u objetos bajo prueba.
- Debe ser construido de manera que facilite su mantenimiento.

#### c) Control de empaquetado

Poco antes de terminar la manufactura de un producto, se envía un registro de empaquetamiento con un número de identificación, este registro especifica los materiales que deben utilizarse, las operaciones a realizar y la cantidad a ser empaquetada. Simultáneamente son mandadas requisiciones por los productos y material impreso para empaquetar.

La operación de empaquetamiento une el producto, el contenedor y una etiqueta para formar el producto final.

#### d) Automatización

Como resultado de los avances en el campo de la electrónica ha habido un rápido desarrollo y aplicación de inspección eléctrica y mecánica, así como la utilización de dispositivos de control en la producción farmacéutica.

Esta automatización se encuentra en el mismo proceso de producción, en la realización de algunas pruebas de control de calidad hasta en el proceso de empaquetamiento del producto final. Claro está que el grado de automatización utilizado depende de los recursos con que cuente la empresa farmacéutica.

#### e) Planes de muestreo estadístico

Este punto se refiere a la necesidad de seleccionar métodos adecuados de muestreo, así como realizar una selección adecuada del número y tamaño de las muestras, con objeto de poder utilizar métodos estadísticos para la toma de decisiones en cuanto al control de calidad de un determinado producto o ingrediente del mismo.

Para realizar lo anteriormente descrito existe lo que se denomina "control de calidad estadístico", que se explica brevemente en el siguiente apartado.

### **1.3. Control de calidad estadístico**

Este tipo de control de calidad se refiere a las características de un producto, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo. Se refiere tanto a la calidad del proceso como al producto en sí.

El control de calidad estadístico (statistical quality control) ha sido definido como el monitoreo de la calidad por medio de la aplicación de métodos estadísticos en todas las etapas de producción.

#### **1.3.1. Distribución normal de frecuencia**

Los métodos estadísticos de investigación basados en la teoría de la probabilidad, pueden ser útiles en la estimación de parámetros para pruebas de significancia, determinación de la relación entre factores, y para realizar decisiones significativas con base en evidencia experimental.

Existen muchos tipos de patrones de variación en la calidad de un producto, siendo el patrón más común el de la distribución normal de frecuencia.

La distribución normal es definida completamente por dos parámetros: la media y la desviación estándar. La media observada ( $\bar{X}$ ) corresponde al promedio aritmético de una serie de valores.

La media se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

donde:  $\sum X$  = Sumatoria de la serie de valores.  
 $N$  = Número de valores.

$\bar{X}$  corresponde a la mejor medición del valor central de la distribución normal y es una estimación de la media teórica ( $\mu$ ). Para establecer una estimación de la dispersión con respecto al valor central se utilizan comúnmente dos expresiones: el rango (R) y la desviación estándar ( $\sigma$ ). El rango se calcula como la diferencia aritmética entre los valores máximo y mínimo de un grupo de datos. La desviación estándar (s) de una población se calcula con la expresión que se muestra a continuación:

$$s = \left[ \frac{(X - \bar{X})^2}{N - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Se puede utilizar también otra expresión equivalente:

$$s = \left[ \frac{1}{N - 1} \left[ \sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{N} \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:  $s$  = Desviación estándar (estimada).  
 $N$  = Número de valores.  
 $\sum(X^2)$  = Sumatoria de valores elevados al cuadrado.  
 $\sum X$  = Sumatoria de valores.

En este caso se emplea el cociente de  $1/(N-1)$  debido a que el número de muestras es finito. Cuando el número de muestras tiende a infinito se utiliza  $N$  en lugar de  $(N-1)$ .

La desviación estándar corresponde a una medida de la variación expresada en las mismas unidades de los valores originales. Si la distribución es normal, permite delimitar un rango en el cual caen una porción dada de las mediciones originales. Estas distribuciones son construidas de tal manera que el área bajo la curva sea unitaria ó 100%, por lo tanto, segmentos de área bajo la curva representan probabilidades.

Tanto el rango ( $R$ ) como la desviación estándar ( $s$ ) representan mediciones de la variabilidad entre los individuos de un grupo. Aunque  $R$  es una medida menos eficiente de dicha variabilidad, existe una relación entre estos dos valores. Es posible obtener una estimación de  $s$  a partir de  $R$ , esto es mediante la división de  $R$  entre un factor adecuado, el cual depende del tamaño de la muestra ( $N$ ). Divisores ( $D$ ) para valores seleccionados  $N$  se dan en la tabla 1.2.

Existe otro parámetro conocido como desviación estándar relativa ( $RSD$ ) y que corresponde a la desviación estándar ( $s$ ) expresada en términos de porcentaje de la media. La expresión para calcular dicho parámetro se muestra a continuación:

$$RSD = \frac{100s}{\bar{X}}$$

Tamaño de la muestra (N)	Divisor (D)
2	1.1
3	1.7
4	2.1
5	2.3
6	2.5
7	2.7
8	2.8
9	3.0
10	3.1
15	3.5
30	4.0
50	4.5
100	5.0
500	6.0

Tabla 1.2 Divisores D.

### 1.3.2. Gráficas de control de calidad

Las gráficas de control se emplean para varias operaciones farmacéuticas y pueden ser usadas para ayudar en el control y análisis (físico, químico, analítico o biológico) de los parámetros de un producto como son:

- i) Variación de peso de tabletas y cápsulas
- ii) Espesor de tabletas
- iii) Dureza de tabletas
- iv) Volúmen de un líquido llenando un contenedor
- v) Número o porcentaje de defectos de un producto

Cualquier medición que pueda formar la base de aceptación o rechazo de un producto es susceptible de ser estudiado mediante una gráfica de control.

Las gráficas de control son útiles para resaltar tendencias de variación en un lote o entre varios lotes de un determinado producto; esto se hace mediante el seguimiento del valor medio de una especificación. Existen dos tipos básicos de gráficas de control de calidad según se basen en variables o en atributos.

Las gráficas de atributos se refieren al cumplimiento o no cumplimiento de situaciones en las cuales cada muestra inspeccionada es probada para determinar si cumple con ciertos requerimientos; las gráficas de variables se basan en una distribución continua de mediciones que pueden medir el grado de aceptabilidad (o rechazo).

### **1.3.3. Muestreo y planeación del muestreo**

El muestreo se puede definir como el proceso de remover un número apropiado de elementos de una población con el objeto de realizar inferencias respecto a toda la población. El objetivo del muestreo y las pruebas subsecuentes es el dar una revisión efectiva de un producto o sustancias en proceso.

Se deben de elegir métodos adecuados de muestreo, así como de selección del número y tamaño de las muestras para realizar un efectivo programa de certificación de calidad. Esto es debido a que el veredicto de "aceptado" o "rechazado" se hace con base en la muestra, independientemente de las condiciones del resto del lote en cuestionamiento.

#### **1.4. Control del medicamento (dosage form)**

El realizar buenas prácticas de manufactura, manejar especificaciones bien definidas, procedimientos de muestreo, así como procesos de control eficientes no quiere decir que se ha completado el programa de control de calidad. Las pruebas del producto final para el cumplimiento de estándares establecidos, para su liberación al mercado, constituyen un factor crítico en la certificación de calidad. Las pruebas pueden indicar posibles desviaciones de la perfección que ocurren en un lote. Sin embargo, la certificación de la calidad del producto no termina con la liberación del lote. La estabilidad del producto puede ser reconfirmada en forma repetitiva por medio de pruebas físicas, químicas y biológicas realizadas en varios lotes representativos del producto durante su período de vida de almacenamiento esperada.

##### **1.4.1. Especificaciones**

El elemento de riesgo potencial a la salud pública y el riesgo de violar estatutos exactos y rigurosos, hacen que el escribir especificaciones para la industria farmacéutica sea muy singular. El propósito principal del establecimiento de especificaciones, es el asegurar que las características de los medicamentos finales se ajusten a estándares apropiados de identidad, pureza, potencia, calidad, seguridad y eficiencia.

Hoy en día muchos países requieren del establecimiento de sus especificaciones cuando un producto es registrado para uso clínico. Sin embargo, la metodología analítica para la droga en medicamento debe ser desarrollada en las etapas iniciales del desarrollo del producto.

Para varias drogas y medicamentos oficiales, existe una descripción de las pruebas y reactivos que se encuentra disponible en un compendio oficial (official compendia). En el se hallan procedimientos específicos que son obligados para realizar un control apropiado del producto. En la tabla 1.3 se mencionan algunos compendios oficiales.

País	Estándar
América	The United States Pharmacopeia, XIX Rev., 1975. National Formulary, 14 Ed., 1975
Inglaterra	British Pharmacopeia, 1973, Addendum, 1971; British Pharmaceutical Codex, 1963
Organización Mundial de la Salud	Pharmacopeia Internationalis 2nd Ed., 1967

Tabla 1.3 Recomendaciones oficiales para la industria químico farmacéutica.

Para el caso de México se ha elaborado una Pharmacopeia Nacional, que contempla una gran cantidad de los productos elaborados. En caso de existir medicamentos no contemplados por la Pharmacopeia Nacional se recurre a la americana en primer término y a la británica en segundo término.

Los procedimientos del compendio se aplican a todos los fabricantes de un producto en particular, aunque los procedimientos de control de calidad de un fabricante se aplican específicamente a su propio producto. El fabricante no es obligado a usar los procedimientos del compendio oficial mientras sus productos finales cumplan los requerimientos del compendio para identidad, potencia y pureza.

### 1.5. Bibliografía

- a) The United States Pharmacopeia  
XXI Edition
  
- b) The Theory and Practice of Industrial Pharmacy  
Leon Lachman, Herbert A. Lieberman & Joseph L.  
Kanig  
Lea & Febiger Philadelphia  
2nd. Edition  
1976

# CAPITULO

## 2

---

# LA INDUSTRIA FARMACEUTICA Y LA FABRICACION DE TABLETAS

---

### 2.1. Introducción

La fabricación de un medicamento nunca ha sido tarea fácil, desde tiempos remotos se ha necesitado de la experimentación y la observación para determinar que drogas son benéficas y que trastornos alivian. Este mismo problema lo siguen enfrentando día con día los grandes centros de investigación farmacológica, pero además, han surgido problemas relacionados con la producción y fabricación masiva de estos, ya que no sólo importa haber encontrado la droga, sino que también es necesario conocer cuáles son la mejores formas de administración y dosificación.

Los dos problemas anteriores se resuelven básicamente mediante experimentos controlados con pacientes que se ofrecen voluntariamente. Gracias a ellos se determinan las formas de administración que hacen más efectivo el medicamento, y las dosis que el organismo llega a aceptar sin provocar grandes efectos secundarios.

Con respecto al tipo de administración, se puede optar desde un simple jarabe hasta técnicas avanzadas de administración, pero para el caso se enfocará a la medicación utilizando tabletas.

Las tabletas y las cápsulas en los últimos años han cobrado gran popularidad por parte de los médicos y pacientes por 3 razones básicas:

- i) Proveen dosis exactas de medicamento
- ii) Son fáciles de administrarse
- iii) Son fáciles de manejarse

Pero esta simplicidad es sólo del paciente, ya que dentro de las divisiones de producción y control de calidad, la fabricación de una tableta no es cosa sencilla; ésta implica mantener entre ciertos parámetros las características de la tableta para que sea posible, entre otras cosas:

- i) La fabricación
- ii) La estabilidad
- iii) La correcta capacidad biológica

De lo anterior se puede intuir que una tableta no sólo está formada por el ingrediente activo, sino que también posee otras sustancias que modifican, agregan o acentúan alguna características del ingrediente activo y permiten se cumplan los tres puntos antes citados.

Para determinar que tipo de añadidos se deben emplear, es necesario considerar aspectos de todo tipo como son el químico, físico y de presentación, para llegar a elaborar un producto de aceptable calidad.

## 2.2. ¿Qué es una tableta?

El concepto de tableta en el ambiente químico-farmacéutico difiere un poco del concepto comúnmente empleado por el resto de la gente. Es por esto que a continuación se transcriben las definiciones de tableta, de los dos manuales más consultados por los especialistas de la rama.

- i) Una tableta es una forma sólida de administración que contiene sustancias medicinales con o sin diluyentes.<sup>1</sup>
- ii) Una tableta es un tipo de dosis farmacéutica que contiene medicamentos con o sin diluyentes y puede ser preparado por los métodos de compresión o de moldeo.<sup>2</sup>

El concepto e idea de tableta se dice empieza a principios de este siglo, y es utilizado por primera vez por John Wyeth and Brother of Philadelphia. En un principio las tabletas fueron aprovechadas para elaborar soluciones que posteriormente se inyectarían (tabletas hipodérmicas), sin embargo hoy en día su función ha cambiado grandemente y su primer empleo ha sido casi desechado.

En la segunda definición se mencionó que pueden ser fabricadas por compresión o por moldeo, constituyéndose en la primera división que existe entre las tabletas.

El proceso de moldeo utiliza moldes para elaborar las tabletas. Este proceso es lento por lo que se ha dejado para fabricación a pequeña escala o para medicamentos que no soportan la compresión.

---

1) DEFINICION DE LA US PHARMACOPEIA  
2) DEFINICION DEL REMINGTON'S PHARMACEUTICAL SCIENCIES  
15ED.

El método de compresión es muy rápido, siendo el preferido de los grandes laboratorios farmacéuticos. Para la fabricación de este tipo de tabletas, se han desarrollado una gran variedad de máquinas tableteadoras automáticas o manuales, con distintas características cada una de ellas.

Dentro de cada uno de estos procesos se encuentran varios tipos de tabletas. A continuación se menciona una de tantas clasificaciones.

### **2.2.1. Tabletatas elaboradas por compresión**

#### **a) Normales**

No tienen ninguna cubierta. Están hechas de polvos cristalinos o materiales granulados con o sin otros elementos tales como aglutinantes, desintegradores, lubricantes, diluyentes, saborizantes, etc.

#### **b) Tabletatas con cubierta de azúcar**

Este tipo de cubierta se utiliza cuando el ingrediente activo presenta olores o sabores desagradables, y/o es susceptible a la oxidación.

#### **c) Tabletatas con cubierta delgada (film)**

Ofrecen las mismas características que las anteriores. Su ventaja radica en que su proceso de producción es más rápido.

d) **Tabletas con cubierta entérica**

Son tabletas que poseen una cubierta que resiste los jugos gástricos pero se desintegran en el intestino. Este tipo de cubierta es usado cuando el medicamento es destruido en el estómago o cuando produce gran irritación en la mucosa gástrica

e) **Tabletas de múltiples capas**

Este tipo es en sí un conjunto de tabletas, cada una de las cuáles pueden contener elementos distintos. Son usadas cuando los ingredientes activos utilizados son incompatibles entre sí.

f) **Tabletas de acción prolongada**

Puede decirse que es una variación de las tabletas multicapas, sólo que en este caso cada capa es igual. Son usadas para administrar drogas en forma continua.

g) **Tabletas para solución**

Son tabletas que permiten elaborar soluciones para ser tomadas o para dar ciertas características a otro compuesto.

h) **Tabletas bucales o sublinguales**

Por lo que general son tabletas redondas u ovales diseñadas para disolverse en la boca y ser absorbidas por la mucosa bucal. Sucede algo semejante para las sublinguales.

### **2.2.2. Tabletas elaboradas por moldeo**

Estas tabletas se elaboran con material húmedo y moldes de tipo cilíndrico. Normalmente se desea que este tipo de tabletas se disuelva rápidamente en el agua.

#### **a) Tabletas de despacho**

Son generalmente usadas para empacar un medicamento potente en dosis exactas, para después ser mezclado con otras sustancias y elaborar tabletas por el método de compresión.

#### **b) Tabletas hipodérmicas**

Son tabletas suaves que se disuelven rápidamente en el agua para formar una solución que es inyectada.

### **2.3. Elementos comúnmente encontrados en una tableta**

A pesar de que existen dos grandes tipos de tabletas sólo se hablará de las fabricadas por el método de compresión.

Para hacer las tabletas, con o sin diluyentes, es necesario que las sustancias posean características esenciales como fluidez, cohesión y lubricación, pero en la mayoría de los casos los ingredientes activos sólo poseen alguna de estas características o ninguna, por lo que es necesario crear procesos de fabricación de tabletas.

Las tres características mencionadas son importantes si se analiza el proceso básico de elaboración de una tableta.

Una tableteadora elemental consta de dos pistones o prensas y una cavidad en la que se coloca el material a comprimir. La tableta se forma mediante la compresión de ambos pistones dentro de la cavidad. Para llenar la cavidad es necesario tener una granulación que fluya libremente y que garantice el uniforme llenado en todos los casos, ya que el peso final de la tableta se obtiene colocando el volumen adecuado dentro de la cavidad. Una vez llenada, las prensas empiezan a formar la tableta, siendo este el momento en el que la sustancia debe de tener la cohesión suficiente para poder mantener la nueva forma que ha adquirido. Por último, al momento de expulsar la tableta, esta debe de tener el deslizamiento adecuado para poder salir de la cavidad con una mínima fricción para no romperse.

A raíz de esto, se han creado tres métodos para la fabricación de tabletas comprimidas con el objeto de poder trabajar con casi cualquier tipo de sustancia. Estos métodos son:

a) Método de granulación húmeda

Es el método más utilizado por tener una gran probabilidad de que la granulación elaborada, presente las características necesarias para la compresión.

Sus desventajas son la lentitud y la gran cantidad de pasos.

b) Método de granulación seca

Este método es empleado cuando el ingrediente activo es sensitivo a la humedad, o cuando no soporta las altas temperaturas, o cuando posee buenas características de cohesión.

c) Método de compresión directa

Este método se usa cuando el ingrediente activo posee todas las características necesarias para ser comprimido.

El método de preparación se determina en parte, por la forma en que se agregan los ingredientes para obtener el compuesto a ser comprimido. La forma y orden con la que se hace esta combinación está en directa relación con las características finales de la tableta (dureza, desintegración, uniformidad etc.).

Como se indicó anteriormente, por lo común, se añaden sustancias inertes al ingrediente activo con el fin de darle las características necesarias para comprimirlo. Estas sustancias inertes, aditivos o agregados se clasifican básicamente en dos tipos:

a) Aquellos que permiten la compresión

- Diluyentes
- Aglutinantes
- Lubricantes

b) Aquellos que dan características físicas adicionales a la tableta.

- Desintegradores
- Colores
- Saborizantes
- Agentes endulzantes

### **2.3.1. Agentes que permiten la compresión**

#### **a) Diluyentes (Diluyents)**

Estos aditivos se emplean cuando las dosis de ingrediente activo son demasiado pequeñas como para poder trabajar con ellas, es decir, el diluyente es una sustancia "inerte" que aumenta el volumen del compuesto hasta niveles prácticos de trabajo.

Los diluyentes inertes son raros, ya que casi siempre afectan en menor o mayor grado la efectividad del medicamento. Esto obliga a realizar gran cantidad de estudios para obtener el agente que presente la mayor compatibilidad con el elemento activo.

Entre los diluyentes más usados se tiene al azúcar, lactosa, almidón, sales, calcio y sulfatos.

#### **b) Aglutinantes (Binders)**

Son agentes que dotan de suficiente cohesión y mayor fluidez a la granulación final. Entre los aprovechados se encuentran: almidón, gelatina, varios tipos de azúcares, gomas naturales y artificiales.

La importancia de seleccionar el aglutinante adecuado estriba en la dureza final de la tableta. Si el aglutinante es demasiado poderoso, la tableta presentará problemas de desintegración dentro del organismo, pero por el contrario, si el aglutinante es débil, la tableta tenderá a desmoronarse muy fácilmente.

En general estos agentes aglutinantes son más efectivos cuando se les incorpora en forma húmeda.

### c) Lubricantes

Este agente ofrece varias funciones al momento de fabricar la tableta. Normalmente el lubricante es añadido para permitir un mayor grado de fluidez a la granulación, y para impedir que esta se pegue en las paredes de la cavidad. Por otra parte, los lubricantes deben evitar la adhesión de la tableta con las prensas de compresión, y también deben de facilitar su expulsión.

La cantidad de lubricante que se agrega es por lo general menos del 1%, a excepción del talco para el cual se requieren concentraciones mayores del 5%.

Entre los lubricantes existentes se tiene: talco y aceites vegetales hidrogenados.

### 2.3.2. Agentes que imparten características físicas adicionales a las tabletas

#### a) Desintegradores

Un desintegrador es una sustancia o conjunto de sustancias que facilitan el rompimiento de la tableta después de ser administrada, con el fin de permitir que el ingrediente activo sea liberado tan eficientemente como sea posible para su rápida disolución.

Entre los desintegradores más empleados se tiene: almidones, barros, celulosas, algas y gomas.

De los almidones más utilizados se encuentran el de maíz y el de papa. Cabe hacer la aclaración que los almidones usados como aglutinantes pocas veces sirven como desintegradores.

Es importante señalar que la forma como se incorpora esta sustancia afecta mucho el resultado final. Por lo general se divide el desintegrador en dos porciones, una que se agrega antes de realizar la granulación y otra que se agrega antes de realizar la compresión. Los porcentajes que se emplean para cada una de estas porciones se determinan sólo mediante experimentación.

#### b) Colorantes y saborizantes

Los colorantes son aprovechados para dar una mejor presentación al medicamento, y para certificar visualmente la uniformidad del compuesto. En la actualidad se propugna que el color de la tableta sea también un indicativo del tipo de droga que posee, para poderlo identificar rápidamente en caso de envenamiento.

Los saborizantes tienen como finalidad básica, esconder malos sabores u olores que pudiera presentar la tableta. Generalmente se usan azúcares, gomas o sacarinas, sin embargo estas últimas tienden a ser más empleadas por requerirse cantidades menores para lograr el mismo grado de dulzura.

### **2.4. Características de las tabletas y sus pruebas**

Una tableta puede ser caracterizada o descrita mediante la mención de los siguientes parámetros:

- i) Diámetro
- ii) Forma
- iii) Espesor
- iv) Peso
- v) Dureza
- vi) Tiempo de desintegración
- vii) Tiempo de disolución

Las primeras dos características son dadas básicamente por la forma y tamaño de las prensas, pudiendo llegar a ser ovaladas, redondas, triangulares, cóncavas, convexas etc. También pueden estar marcadas en mitades o cuartos para facilitar su rompimiento si se requiere de dosis más pequeñas. Algunas empresas también optan por poner letras o símbolos para determinar fácilmente el origen de la tableta.

Las características restantes tienen como finalidad mantener una calidad y semejanza entre los distintos lotes de tabletas de un mismo medicamento. Es importante mencionar que todos estos parámetros están interrelacionados de alguna manera, y una variación en el lote se refleja en todos ellos.

A continuación se habla de cada una de estas características, indicando su importancia, así como los métodos o instrumentos que se utilizan para verificarlas.

#### **2.4.1. Espesor**

El espesor de la tableta es uno de los parámetros que continuamente se está revisando durante el proceso de fabricación, ya que su variación es un indicativo de alguno de los siguientes problemas:

- i) No homogeneidad o diferencia en la granulación
- ii) Problemas con la presión aplicada por las prensas
- iii) Problemas con la velocidad de producción

Pero la homogeneidad de espesores no sólo sirve para garantizar la semejanza entre lotes, sino que también permite utilizar los envases que

han sido diseñados para ellas. Por ejemplo, si una tableta es más gruesa de lo normal, es probable que no quepa en el contenedor ya sea un frasco o paquete, pero por el contrario, si la tableta resultó ser más delgada de lo normal, es posible que presente un mayor desgaste durante su manejo debido al "juego" que existe en el envase, reduciéndose drásticamente la dosis esperada de medicamento.

Por otra parte, algunos de los equipos llenadores de frascos, emplean el espesor como indicativo de presencia de tableta, por lo que una variación fuerte provoca un llenado desigual de los frascos.

Para medir el espesor de las tabletas actualmente se usan Verniers o medidores de espesor con una resolución de 1/10 a 1/100 de milímetro. La unidad comúnmente usada para indicar el espesor de una tableta son los milímetros y en algunos casos las pulgadas. La desviación usualmente aceptada es de  $\pm 5\%$ , pudiendo variar dependiendo del espesor de la tableta.

Cabe aclarar que esta característica no es exigida por las Pharmacopeias, sino que constituye una restricción de los mismos laboratorios por las ventajas que les brinda.

#### **2.4.2. Peso**

Durante el proceso de fabricación, el peso de una tableta se determina en forma indirecta mediante el conocimiento del volumen de la cavidad de la prensa, y la densidad de la granulación que se está utilizando.

Las Pharmacopeias recomiendan tolerancias para el peso promedio de tabletas comprimidas sin cubierta. Para determinar el promedio es necesario

trabajar con 20 tabletas pesadas en forma individual. La variación que pueden tener es de no más de dos tabletas fuera de los rangos indicados en la tabla 2.1 Ninguna de las tabletas debe de diferir más del doble del porcentaje indicado.

Los instrumentos que se emplean para determinar estos pesos son básculas de precisión que tienen normalmente una capacidad máxima de 10 gramos, y una resolución de 1/10000 de gramo.

PESO PROMEDIO		PORCENTAJE DE DIFERENCIA
$130 \geq x$	mg	10
$130 < x \leq 324$	mg	7.5
$324 < x$	mg	5

Tabla 2.1 Variaciones de peso aceptadas para las tabletas.

#### 2.4.3. Dureza

Básicamente la dureza se ha identificado como un indicador de la resistencia de la tableta a la abrasión, al empaquetado y a la transportación (manejo).

Como regla empírica se considera que una tableta posee una dureza adecuada, cuando es rompible utilizando una sola mano. Pero para fines comerciales, esta regla es poco práctica, requiriéndose de instrumentos que determinan la dureza de una tableta mediante la aplicación de una fuerza diametral. Idealmente la fuerza máxima que soporta la tableta es aquella que produce su primera fractura pudiendo ser visible o no.

Dentro de los laboratorios de control de calidad se considera que la dureza de una tableta debe ser de al menos 4 kg fuerza o Kp<sup>1</sup>.

Las unidades empleadas para indicar la dureza de la tableta son varias. La más usada es el kilogramo fuerza, conocido en el ambiente farmacéutico como Kp de dureza, posteriormente le sigue la libra fuerza o "pound"; finalmente dentro de las menos utilizadas se encuentra el Newton perteneciente al sistema MKS, y la unidad llamada Strong-Cobbs (Sc) que es totalmente arbitraria, la cual fue creada en 1950 cuando la Strong-Cobbs introdujo al mercado su medidor de dureza<sup>2</sup>.

Hasta este momento sólo se ha mencionado la importancia de tener una tableta dura, pero el tener una tableta demasiado dura tampoco es bueno, ya que introduce retardos no deseados en la desintegración de la tableta dentro del organismo.

Una forma alternativa de medir la dureza de la tableta es utilizando el fibrilador de Roche.

En la figura 2.1 se muestra una vista de frente de este aparato. Este cilindro está conectado a un motor de velocidad variable. Al girar el cilindro provoca que las tabletas sufran pequeñas caídas a una velocidad determinada, esto con el objeto de simular el supuesto transporte y manejo al que debe de enfrentarse una tableta.

---

1) KILOPONDIO = 9.81 NEWTONS

2) EXPERIMENTALMENTE SE HA DETERMINADO QUE UN SC EQUIVALE A 1.6 KILOGRAMOS FUERZA. ESTA UNIDAD ESTA EN DESUSO.

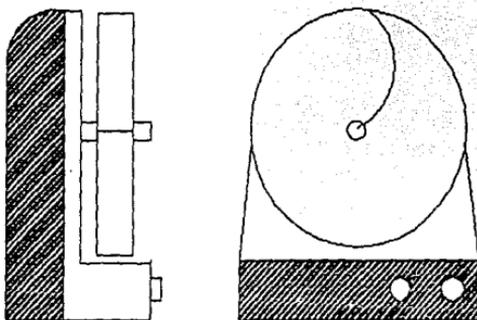


Figura 2.1 Fibrilador de Roche

Cuando los laboratorios utilizan este método proceden a colocar un número conocido de tabletas, previamente pesado en una báscula de precisión, para posteriormente prender el fibrilador por un tiempo y revoluciones determinadas. Al transcurrir ese tiempo se apaga el aparato y se sacan las tabletas cuidadosamente para volverse a pesar. Finalmente con el uso de técnicas estadísticas y con el conocimiento de los pesos, iniciales y finales, se determina si la pérdida de peso produjo que la cantidad de ingrediente activo esté por debajo de las normas de calidad establecidas por la Pharmacopeia<sup>1</sup>.

Otra forma de realizar una prueba semejante a la del fibrilador de Roche, consiste en enviar un paquete muestra por varios medios de transporte

---

1) ES UN DOCUMENTO FIJADO NORMALMENTE POR LOS INSTITUTOS DE INVESTIGACION OFICIALES DE CADA PAIS. CUANDO SE CARECE DE ESTOS INSTITUTOS NORMALMENTE SE PIDE SE SIGAN LAS NORMATIVAS DE ALGUNA PHARMACOPEIA EN ESPECIAL.

y determinar las pérdidas de peso que sufre la tableta durante ese viaje.

Esta prueba al igual que la del espesor no esta directamente normalizada en las Pharmacopeias, sin embargo, desde el momento en que la Pharmacopeia determina las desviación máxima aceptable en el peso del ingrediente activo, se fijan en forma implícita la características de una determinada dureza.

#### 2.4.4. Desintegración<sup>1</sup>

Esta prueba no esta normalizada por las Pharmacopeia debido a que no garantiza la asimilación del ingrediente activo. Consiste en medir el tiempo que tarda la tableta en desintegrarse en particulas capaces de pasar a través de un filtro de 10-mesh.

A pesar de su poca significancia con respecto a la asimilación del medicamento, la prueba provee medios de control para certificar que un lote de tabletas es igual a los otros.

Para realizar las pruebas se requiere de un aparato especial que cumpla con ciertas características de volumen, temperatura y movimiento. Las pruebas varían dependiendo del tipo y tamaño de tableta.

---

1) PARA MAYOR INFORMACION SOBRE EL PROCEDIMIENTO EXACTO DE ESTA PRUEBA FAVOR DE CONSULTAR EL CAPITULO 89 DEL REMINGTON'S SCIENCES 19TH EDITION.

#### **2.4.5. Disolución**

Esta prueba si está debidamente normalizada por las Pharmacopeias, y la realizan tanto los laboratorios que producen las tabletas, así como los centros hospitalarios que las utilizan.

Debido a que la absorción y la capacidad biológica de las drogas depende de que estas estén disueltas, es necesario garantizar que la tableta posee las características adecuadas para lograr esa disolución. Esta prueba al igual que la de desintegración, mide el tiempo requerido para que un porcentaje del ingrediente activo entre en disolución bajo unas determinadas condiciones en una prueba en vitro.

Esta prueba sólo determina la capacidad biológica de la droga, y no su seguridad o efectividad. La seguridad y la efectividad como se indicó desde un principio, sólo se determina mediante experimentos controlados en vivo.

Las características del aparato para realizar las pruebas, y los métodos que se deben de seguir para cada tipo de droga, se especifican en la Pharmacopeia.

## 2.5. Bibliografía

- a) The United States Pharmacopeia  
XXI Edition
- b) Remington's Pharmaceutical Sciences  
Anderson, Bendush, Chase, Gennaro, Harvey,  
King, Martin, Swinyard  
Mack Publishing Company  
15ed. Edition  
1975
- c) The Theory and Practice of Industrial Pharmacy  
Leon Lachman, Herbert A. Lieberman & Joseph L.  
Kanig  
Lea & Febiger Philadelphia  
2nd. Edition  
1976
- d) Drugs and Pharmaceutical Sciences, Vol. 7  
Gilbert S. Banker & Christopher T. Rhodes  
Marcel Dekker, Inc.  
1979
- e) Manual de Fórmulas Técnicas  
Kurt Greck  
Representaciones y servicios de Ingeniería, S A  
18a. Edición

# CAPITULO

## 3

---

# CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS COMERCIALES

---

### 3.1. Introducción

Dentro de esta investigación no debía faltar la opinión de los laboratorios farmacéuticos, quienes finalmente son los que emplean y aprovechan este tipo de tecnología. Para lograr esto se realizaron un par de entrevistas con los gerentes de los departamentos de control de calidad de SEARLE de México S.A. de C.V. y CIBA-GEIGY Mexicana S.A. de C.V., División Farmacéutica.

Por otra parte, también se recabó información vía telefónica de UPJOHN de México S.A. de C.V., RUDEF S.A. y Mead-Johnson de México S.A. de C.V.

Otras entrevistas importantes, por la información brindada, fueron las realizadas con la Mtra. María Luisa García de la Facultad de Química de la UNAM, y con el Ing. Ricardo Avila de Omni Electronics S.A.

De la información recabada se elaboró un resumen que contiene tres puntos básicos:

- i) La industria químico farmacéutica en México
- ii) Las características medidas y los parámetros empleados
- iii) El equipo usado

### **3.2. La industria químico-farmacéutica en México**

La mayor parte de los medicamentos que existen en México son producidos por empresas transnacionales, siguiendo los lineamientos establecidos básicamente por la Pharmacopeia Americana (US Pharmacopeia).

Estos medicamentos son elaborados siguiendo las fórmulas establecidas por los propios centros de investigación de cada empresa, los cuales se encuentran principalmente en Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Alemania y Suiza. Estas drogas llegan a México en etapas muy avanzadas de investigación, es decir, ya se han realizado extensas pruebas sobre los efectos primarios y secundarios de cada una de ellas. Esto en primera instancia parece ser bueno, sin embargo trae consigo un atraso significativo con respecto a los países que realizan investigación. Por otra parte, existen casos en los cuales se producen medicamentos que han sido desechados en sus países de origen por ser poco eficientes o por traer consigo grandes efectos secundarios, mientras que en México continúa su producción.

Las causas de este atraso son muchas, y entre ellas se mencionan: etapas de desarrollo lentas (por precaución al tipo de droga generada), retrasos en el establecimiento de patentes, falta de convenios en materia de intercambio de sustancias químicas, excesivos trámites ante la Secretaría de Salud, y la Secretaría de Comercio y

Fomento Industrial para la producción de medicamentos, falta de equipo o sustancias para producirlo y/o falta de una cantidad mínima de población enferma para producir el medicamento en forma rentable.

Algunos de estos problemas se deben en parte a la insuficiencia e ineficiencia de los institutos y centros de investigación mexicanos, encargados de llevar a cabo un control y seguimiento de los medicamentos que actualmente se producen en México. El control de estos centros consiste en certificar la calidad y cantidad del producto, así como sus efectos en la población mexicana (considerándola como una raza distinta).

Por su parte, a la industria farmacéutica se le deja casi en libertad de seleccionar los medicamentos y controlar la calidad de los mismos.

Como es de esperarse, todas estas empresas dicen tener a su disposición los mayores avances tecnológicos para la producción de sus medicamentos.

Con respecto al equipo observado, se puede decir que en su mayoría es obsoleto. Esto es debido, según el personal, al excesivo costo que implica importar maquinaria de alta tecnología a México, pero agregan que en la actualidad ese costo se ha reducido significativamente, por lo que se vislumbra una pronta renovación del equipo empleado. (Se mostraron algunas máquinas de reciente adquisición que actualmente se encuentran en proceso de instalación).

El equipo que poseen estas empresas es de fabricación extranjera, ninguno cuenta con algún sistema diseñado en México. A pesar de esto, si están dispuestos a aceptar tecnología mexicana, siempre y cuando cumpla con los requerimientos,

sea de excelente calidad y posea un costo competitivo.

Por último es importante mencionar que en todos los laboratorios se cuenta con un departamento de producción y un departamento de control de calidad, cada uno trabajando independientemente sobre los mismos productos, esto con el fin de garantizar la calidad del producto final.

### **3.3. Las características medidas y los parámetros empleados**

Se observa que todos los laboratorios realizan las mismas pruebas a la tabletas. Estas pruebas son siete y a continuación se enlistan.

- i) Dureza
- ii) Peso
- iii) Espesor
- iv) Friabilidad
- v) Disolución
- vi) Desintegración
- vii) Análisis

En el departamento de producción se realizan sobre todo las pruebas de tipo físico, como son dureza, peso, espesor y friabilidad, ya que con esos resultados se determina el ajuste de las máquinas tableteadoras. La toma de muestras se lleva a cabo cada 20 ó 30 minutos, dependiendo de la velocidad de producción. Por ejemplo para un lote aproximado de 300,000 tabletas, se extraen 1000 para pruebas dentro de este departamento.

Por su parte, el departamento de control de calidad obtiene aproximadamente 250 muestras en el transcurso de todo el proceso de producción de un lote. De estas tabletas, la mitad son de reserva para el caso de incertidumbre o falla en alguna de

las pruebas. Este departamento realiza en forma intensiva cada una de las pruebas antes mencionadas. En el caso de CIBA-GEIGY la asignación (aproximada) del número de tabletas para cada prueba es la siguiente:

- i) 20 para peso
- ii) 5 para espesor
- iii) 20 para friabilidad
- iv) 10 para dureza
- v) 12 para desintegración

Para las pruebas de análisis y disolución se emplean tabletas previamente probadas.

Con respecto a los rangos de trabajo de las pruebas de dureza y espesor se determinó que en todos los casos se presentan rangos muy definidos y casi semejantes. De estos rangos se seleccionan los mayores y son los que se muestran a continuación.

### 3.3.1. Espesor

- i) Valor mínimo: 1.5 mm
- ii) Valor máximo: 7 mm

Normalmente el máximo es de 5 mm, pero en casos no muy frecuentes se maneja 7 mm.

- iii) Resolución: 1/100 de mm
- iv) Tolerancia:  $\pm 1/100$  mm

### 3.3.2. Dureza de la tableta

- i) Valor mínimo: 1 Kp<sup>1</sup>
- ii) Valor máximo: 15 Kp

Considerando al Newton (N) como unidad se manejan los siguientes valores:

- iii) Resolución: 1 N
- iv) Tolerancia:  $\pm 1$  N

### 3.4. El equipo usado

Los instrumentos empleados actualmente por los departamentos de producción y control de calidad son semejantes, sin embargo en el departamento de producción se espera un cambio significativo, debido a que las nuevas máquinas tableteadoras ya contienen los instrumentos de medición de espesor, dureza y peso con los cuales se autocalibran, sin necesidad de que intervenga el factor humano. Para su funcionamiento sólo es necesario programar la cantidad muestreada y el período de muestreo.

Dentro de las herramientas comúnmente empleadas para medir las características de espesor, dureza y peso se tienen:

#### a) Espesor

En todos los casos se emplean Vernier's con una resolución de 0.1 ó 0.05 mm. La unidad de pulgada no es utilizada. Los rangos de trabajo se encuentran entre 1 y 7 mm.

---

1) CONVERSION: 1 KP = 9.804 N

## b) Dureza

En todos los casos se emplean durómetros semi-automáticos no expandibles electrónicamente. Los rangos de trabajo de estos equipos es de 1 a 20 Kp y la resolución que presenta es de aproximadamente 100 gramos (1 Newton). La unidad empleada en todos los casos es de 1 Kp, ya que las libras fuerza (lbf) y los Strong Cobs (Sc) están fuera de uso.

Para calibrarse requieren de una pastilla o tableta mecánica que simule una dureza de  $50 \pm 1$  N.

Todos los equipos aplican su fuerza por medio de sistemas mecánicos (Cremalleras y transmisiones de potencia).

La presentación de los resultados es por medio de displays e impresora, sólo en un caso la salida es de tipo analógico.

## c) Peso

Para esta característica se emplean básculas altamente sensibles con una resolución mínima de diezmilésimas de gramo. La exactitud de esta medición es esencial ya que en la actualidad se están fabricando tabletas de 50 mg y la Pharmacopeia establece una desviación máxima de 2%.

Las básculas empleadas son en todos los casos marca Sartorius.

Todos estos equipos poseen sus respectivos permisos por parte de la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial para trabajar como instrumentos de medición. Por otra parte, es necesario realizar una revisión anual para continuar operando.

En la actualidad se está comercializando un sistema de marca INPPEC que mide las tres variables antes citadas en forma automática. Sólo es necesario montar las tabletas en el magazine y el sistema se encarga de colocarlas en el lugar correspondiente y realizar las mediciones. Al terminar las pruebas impreme los datos obtenidos, así como estadísticas y gráficas para cada una de las variables.

Los rangos de trabajo y las características de cada uno de los instrumentos de este equipo son:

a) Dureza

- Linealidad de 0.5%
- Resolución de 1 N
- Rango de medición de 1 a 300 N
- Principio de medición celda de carga
- Capacidad de 9 tabletas por minuto
- Calibración con una masa de 5 Kg

b) Espesor

- Linealidad de 0.5%
- Resolución de 0.01 mm
- Rango de medición 0.01 a 17 mm
- Calibración con un bloque patrón de 10 mm

c) Balanza

- Comunicación vía puerto serial RS-232C compatible
- Resolución de 0.0001 gramos
- Rango de medición de 0 a 30 gr
- autocalibrable

El precio de este sistema en México es de 25,000.00 dólares americanos más I.V.A., por lo que ha presentado problemas de comercialización debido a que los departamentos no pueden justificar un equipo de ese costo.

Con el proyecto que se presenta, se muestra la factibilidad de crear un equipo de características similares o mejores, con un costo menor a los 2,000 dólares americanos.

### 3.5. Bibliografia

- a) The United States Pharmacopeia  
XXI Edition
- b) Remington's Pharmaceutical Sciences  
Anderson, Bendush, Chase, Gennaro, Harvey,  
King, Martin, Swinyard  
Mack Publishing Company  
15ed. Edition  
1975

# CAPITULO

## 4

---

# TRANSDUCTORES

---

La finalidad de este capítulo es dar una introducción a los transductores, sus funciones, la clasificación de los mismos, así como algunas de las posibles opciones a utilizar en el sistema probador de tabletas PS I.

### 4.1. Introducción

Los elementos funcionales que en forma general conjuntan un sistema de instrumentación se presentan en la figura 4.1 y se comentan a continuación:

#### a) Elemento sensor primario

Este elemento recibe la energía del medio bajo medición y produce una salida que depende de alguna manera de la cantidad medida. Siempre extrae alguna energía del medio, esto implica que la cantidad bajo medición es alterada en cierto grado, haciendo imposible una medición teóricamente perfecta.

## ELEMENTOS FUNCIONALES DE UN SISTEMA DE MEDICION



Figura 4.1

b) Elemento de conversión de variable

No siempre está presente, su función consiste en convertir la variable física de salida del elemento sensor primario en otra variable física, preservando la información contenida en la señal original. La nueva variable física debe ser apropiadamente manipulada por las siguientes etapas funcionales del sistema de medición.

c) Elemento de manipulación de variable

Su función consiste en acondicionar la variable física, para que sea utilizada a la entrada de algún elemento funcional. Este elemento generalmente sigue a uno de conversión de variable, encontrándose en cualquier parte de la cadena de elementos funcionales o simplemente no aparecer.

d) Elemento de transmisión de datos

Su función es la de transmitir datos entre dos elementos funcionales, cuando estos se encuentran separados físicamente.

e) Elemento de presentación de datos

Este elemento convierte la información de la cantidad medida a un formato reconocible por uno (o varios) sentidos humanos, que en muchas ocasiones es la vista.

#### **4.2. Concepto de transductor**

El concepto de transductor en una manera muy amplia, se refiere a un dispositivo que al ser actuado por energía de un sistema de transmisión, suministra energía a un segundo sistema de transmisión, en donde la energía transmitida entre

dichos sistemas puede ser de cualquier forma, siendo iguales o diferentes entre sí.

#### **4.3. Función de los transductores en la instrumentación**

La función de un transductor se encuentra contenida, básicamente, en los bloques funcionales denominados: elemento sensor primario y elemento de conversión de variable. Desde el punto de vista eléctrico, el transductor recibe la señal a medir que es de tipo no eléctrico, y proporciona una señal de salida de tipo eléctrico que depende de alguna manera de la señal de entrada.

#### **4.4. Clasificación de los transductores**

Para realizar una clasificación de los transductores se pueden manejar varios criterios, como serían la aplicación o el método de conversión de energía empleado, razón por la cual es difícil realizar una clasificación y distinción estricta de los diferentes transductores que existen.

En general, se manejan dos tipos de transductores de acuerdo al criterio de tener que suministrar al transductor una potencia externa, para que manifieste una señal de salida en concordancia con un cierto estímulo de entrada. Estos dos tipos de transductores son los siguientes:

##### **a) Transductores pasivos**

Es el tipo que requiere de una potencia externa para producir la variación de algún parámetro eléctrico, manifestándose como una variación de voltaje o de corriente.

## b) Transductores de autogeneración

No requiere de una potencia externa para producir un voltaje o corriente cuando son estimulados con alguna forma física de energía.

A continuación se da una lista de los transductores de acuerdo a su principio físico de operación:

- Transductores resistivos
- Transductores magnéticos
- Transductores capacitivos
- Transductores térmicos (termopares)
- Transductores piezoeléctricos
- Transductores electroquímicos
- Transductores de semiconductor

Cabe aclarar que sólo se tomarán en cuenta aquellos transductores cuya salida sea de tipo eléctrico.

### 4.4.1. Transductores resistivos

Los transductores de tipo resistivo son tal vez los más simples y antiguos, como su nombre lo indica el parámetro eléctrico que varía de acuerdo a la entrada del transductor es la resistencia.

Requieren de poca energía externa para operar, por lo tanto, son transductores de tipo pasivo. A la salida proporcionan señales "grandes", es decir, que en algunas ocasiones no es necesario amplificarlas para ser manipuladas por el sistema de instrumentación.

Dentro de esta clasificación se mencionan cinco tipos básicos de transductores resistivos:

a) Potenciómetros

Para este tipo de transductor, el posicionamiento de un cursor por medio de una fuerza física, varía la resistencia eléctrica del elemento o de un circuito puente.

b) Termómetros de resistencia

También denominados "detectores de temperatura por resistencia". En ellos la resistencia cambia con la temperatura, manejándose este efecto sólo en metales. La pendiente de variación de temperatura es siempre positiva.

c) Termistores

También denominados "resistencias térmicas", en ellos la resistencia varía en concordancia con la temperatura. A diferencia de los termómetros de resistencia, los termistores utilizan dos clases de materiales: los óxidos de metal y el silicio.

Presentan un coeficiente de variación con la temperatura alto y normalmente negativo. Debido a su alta sensibilidad a los cambios de temperatura son idóneos para la medición, control y compensación precisa de la temperatura.

d) Galgas extensiométricas (Strain Gage) metálicas

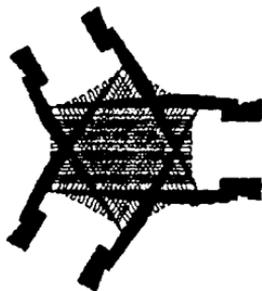
Este transductor convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia, es probablemente el sensor eléctrico de fuerza más utilizado.

El cambio de resistencia debido a la tensión de la galga se mide por medio de un puente de Wheatstone.

Las galgas extensiométricas metálicas están formadas con alambre delgado o con hojas delgadas de lámina de metal.

El principio de operación consiste en que un metal sometido a la tensión, experimenta un incremento de longitud y una disminución de su área, ocasionando un cambio en su estructura molecular que se manifiesta en la resistencia del mismo. Si la fuerza aplicada no es muy grande el alambre recuperará sus dimensiones originales.

PATRON DE UN STRAIN  
GAGE



ARREGLO DE STRAIN GAGES  
PARA MEDIR FUERZA EN  
TODAS LAS DIRECCIONES

Figura 4.2 Algunas formas de strain gages.

Comercialmente existen variedades de estos transductores que actúan a la tensión, a la compresión o ambas.

La sensibilidad de una galga extensiométrica se cuantifica en términos de una característica denominada el factor de galga, GF, que se define como la unidad de cambio en la resistencia por unidad de cambio de la longitud, lo cual se manifiesta mediante la siguiente expresión:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

donde: GF = Factor de galga.  
R = Resistencia nominal de la galga.  
 $\Delta R$  = Cambio en la resistencia de la galga.  
l = Longitud normal del espécimen (sin esfuerzos).  
 $\Delta l$  = Cambio en la longitud del espécimen.

La expresión anterior mediante tratamiento matemático se puede igualar a la siguiente expresión:

$$GF = 1 + 2 \cdot \mu$$

donde:  $\mu$  = Relación de Poisson.

La relación de Poisson para la mayoría de los metales presenta un valor entre 0.25 y 0.35, teniéndose entonces que el factor de galga para los metales se encuentra entre 1.5 y 1.7.

La variación que sufre la resistencia por lo general no sobrepasa el 5 % del valor total de la resistencia.

Estos transductores presentan muchos problemas con la temperatura, por lo que es necesario establecer puentes o elementos que compensen esta variación, ya que en algunos casos se pueden provocar errores superiores al 100 %.

#### e) Galgas extensiométricas de semiconductor

Este tipo de transductor cambia su resistencia según la tensión (fuerza) que le sea aplicada, sin embargo, esta es la única similitud con las galgas metálicas. En un semiconductor la conducción ocurre por medio de portadores minoritarios suministrados por las impurezas que le son adicionadas. Su resistencia varía de acuerdo a la concentración de cargas minoritarias y por su movilidad.

La tensión aplicada en el semiconductor altera tanto la concentración, como la movilidad mencionadas, teniendo como resultado que la resistencia cambia varias veces más en relación con el cambio que se tiene en los metales.

A diferencia de los metales, los semiconductores permiten elaborar galgas extensiométricas cuya resistencia aumente, o bien, disminuya de acuerdo a la tensión aplicada. Las galgas de semiconductor ofrecen la ventaja de tener mayor sensibilidad, menor tamaño, mayor resistencia, alta vida a la fatiga y baja histéresis. Funcionan a frecuencias y tiempos de subida significativamente mayores que las galgas metálicas. Tienen la desventaja de ser muy susceptibles a la temperatura.

#### 4.4.2. Transductores magnéticos

Los transductores magnéticamente acoplados combinan precisión, exactitud y resultados confiables, con diseño y operación sencillos. Entre sus principales atributos se encuentran su gran sensibilidad y una resolución infinita de salida (señal analógica).

Su principal característica es su capacidad de realizar mediciones proporcionando cualquier grado de aislamiento eléctrico y mecánico (sin fricción) entre la medición y la lectura.

Debido a que los circuitos utilizados son de corriente alterna (ac), los instrumentos de lectura son ligeramente más complicados que los requeridos para los transductores resistivos.

Dentro de esta clasificación se mencionan a continuación dos tipos básicos de transductores magnéticos:

- a) Transformador diferencial variable lineal  
(linear variable differential transformer)

Es un transductor cuya salida es proporcional a la posición de un núcleo magnético móvil. En la figura 4.3 se muestra un arreglo básico para este transductor.

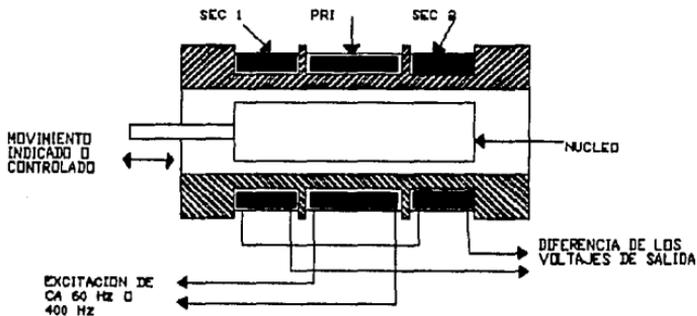


Figura 4.3 Partes de un LDVT.

El núcleo se mueve sobre una misma línea de acción dentro de un transformador consistente en un arrollamiento central primario y dos arrollamientos secundarios, que en conjunto presentan una forma cilíndrica. El primario se energiza con una fuente de voltaje alterno, induciendo voltajes en los secundarios que varían de acuerdo a la posición del núcleo.

En la figura 4.4 se muestra un corte transversal de un LDVT.

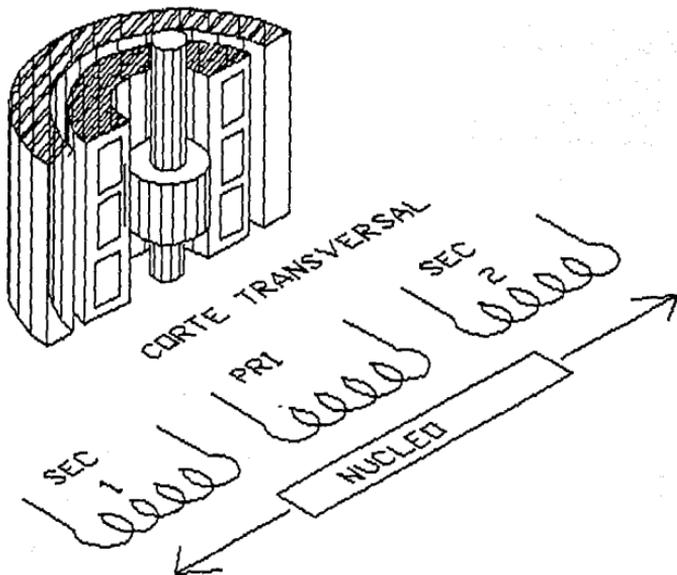


Figura 4.4 Corte de un LDVT.

Este transductor ha tomado importancia en la medición de posición y desplazamiento, puesto que su rango de linealidad es típicamente de 0.5%.

b) Transductor lineal de reluctancia variable (linear variable reluctance transducer)

Este transductor físicamente es muy similar al transformador diferencial variable lineal, teniendo como única diferencia el arreglo de arrollamientos, ya que en lugar de emplear tres arrollamientos se usa sólo un arrollamiento con "tap" central.

El arrollamiento usualmente se conecta como la mitad de un puente inductivo, aunque también se se puede llegar a tener un divisor resistivo. Esto se observa en la figura 4.5.

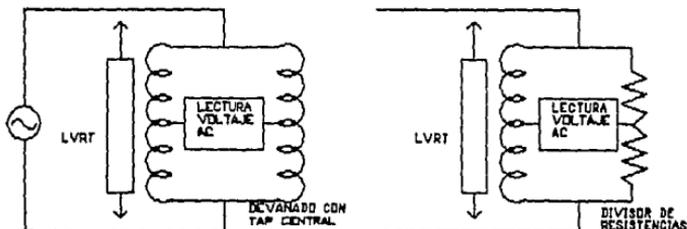


Figura 4.5 Configuraciones de un LVRT.

Además de ser muy parecido físicamente al LVDT, posee una sensibilidad y desempeño similar a aquel, siendo sus aplicaciones esencialmente idénticas.

#### 4.4.3. Transductores capacitivos

Este tipo de transductores como su nombre lo indica tiene como principio de operación el cambio en la capacitancia eléctrica entre un par de conductores. Tienen el potencial de transformar una gran variedad de variables físicas a señal eléctrica.

La capacitancia es una medida de la cantidad de carga que puede ser almacenada entre dos conductores, antes de que un cierto voltaje sea alcanzado. El caso más sencillo corresponde a un arreglo de placas paralelas, cuya capacitancia se expresa en la siguiente expresión:

$$C = \frac{q}{V} = K \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

donde: C = capacitancia en Farads (F)  
q = carga en Coulombs (C)  
V = diferencia de potencial en volts (V)  
K = constante dieléctrica, no tiene unidades (en el vacío)  
 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m  
A = área efectiva de la placa en metros cuadrados ( $m^2$ )  
d = separación entre placas en metros (m)

En general, para cualquier par de conductores existe capacitancia sin importar su forma o separación.

La capacitancia entre dos conductores varía si se altera la distancia existente entre ellos o si se cambia el dieléctrico.

El transductor capacitivo tiene una excelente respuesta de frecuencia y permite medir tanto fenómenos estáticos como dinámicos. Sus desventajas son la sensibilidad a las variaciones de la temperatura y la posibilidad de señales erráticas o distorsionadas debido a terminales de gran longitud.

#### **4.4.4. Termopares**

Este transductor está formado por un par de alambres de materiales disímiles, unidos en un extremo (unión sensora o caliente) y terminados en otra unión (de referencia o fría), la cual se mantiene a temperatura constante (temperatura de referencia). Cuando existe una diferencia de temperatura entre las uniones sensora y de referencia, se produce una fem (fuerza electromotriz) que origina una corriente en el circuito (efecto Seebeck).

Cuando la unión de referencia se termina en un medidor, la lectura del medidor será proporcional a la diferencia de temperaturas entre la unión caliente y la unión de referencia.

Sus ventajas incluyen un rango de temperaturas mayor que para otros sensores de temperatura, además de linealidad, simplicidad de construcción y costo relativamente bajo. Sus desventajas incluyen poca sensibilidad, además de exactitud y precisión pobres con respecto a los termistores de precisión.

#### **4.4.5. Transductores piezoeléctricos**

En esta categoría se encuentran transductores que están conformados de materiales cristalinos asimétricos que al ser mecánicamente deformados producen una carga eléctrica.

Tienen la característica de ser reversibles, sufriendo deformaciones mecánicas cuando son sujetos a un voltaje aplicado.

Un sensor piezoeléctrico puede ser modelado como una fuente de voltaje alterno (ac) en serie con un pequeño capacitor. Un cambio en el voltaje ( $\Delta V$ ), causa un pequeño cambio en la carga ( $\Delta Q$ ), existiendo un flujo dentro o fuera de las placas del capacitor. Las salidas generalmente se especifican en picocoulombs (pC) por unidad de fuerza.

De la explicación anterior se intuye que este tipo de transductor no es adecuado para utilizarse en aplicaciones estáticas, ya que su rango de interés se encuentra generalmente a altas frecuencias; empleándose principalmente como sensor de presión o de fuerza.

Los amplificadores de voltaje que se usan deben de presentar una impedancia de entrada mucho más grande que la capacitancia de salida del transductor a las frecuencias de interés.

En la figura 4.6 se observa el efecto piezoeléctrico longitudinal en un cristal de cuarzo.

#### **4.4.6. Transductores electroquímicos**

Estos transductores entran en la categoría de autogeneración, entre ellos se pueden mencionar algunos ejemplos:

- i) Celdas de conductividad
- ii) Electrodo de pH
- iii) Electrodo de potencial de óxido-reducción
- iv) Medición selectiva de iones

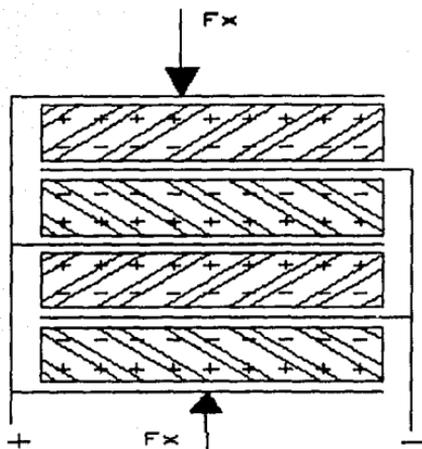


Figura 4.6 Arreglo de un conjunto de discos de cuarzo

#### 4.4.7. Transductores de semiconductor

Esta categoría corresponde a una clase relativamente nueva de dispositivos-transductores que son fabricados con silicio.

Una de sus principales ventajas, es la capacidad de contener en un sólo circuito integrado, otros elementos que sirvan para acondicionamiento de la señal, teniéndose entonces una salida más depurada sin tener que añadir más circuitería.

La comercialización de transductores dentro de ésta categoría se puede decir que es relativamente reciente, encontrándose en mediciones como: temperatura, tensión (strain), presión, aceleración y pH. De estos los mejor establecidos en el mercado son los sensores de temperatura, tensión y efecto Hall.

#### a) Teoría del efecto Hall<sup>1</sup>

La teoría del efecto Hall establece que cuando por un conductor fluye una corriente, y además es colocado dentro de un campo magnético, se generará un voltaje perpendicular a ambos.

El principio del efecto Hall se ilustra en las figuras 4.7 y 4.8.

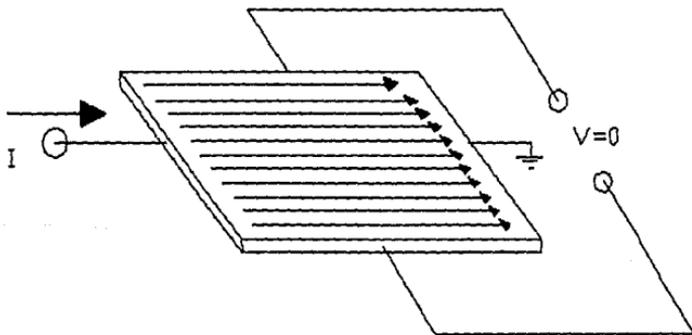


Figura 4.7 Principio de efecto Hall sin campo magnético.

- 1) ESTE EFECTO FUE PRIMERAMENTE DEMOSTRADO POR EL DR. EDWIN F. HALL EN 1879 MIENTRAS ERA CANDIDATO DOCTORAL EN LA UNIVERSIDAD JOHN HOPKINS EN BALTIMORE.

En la figura 4.7 se observa una hoja delgada de material semiconductor, elemento Hall, a través del cual circula una corriente constante,  $I$ . Las conexiones de salida se colocan en posición perpendicular a la dirección de la corriente. Debido a que no existe un campo magnético presente, la distribución de corriente será uniforme y no se establecerá diferencia de potencial en la salida,  $V=0$ .

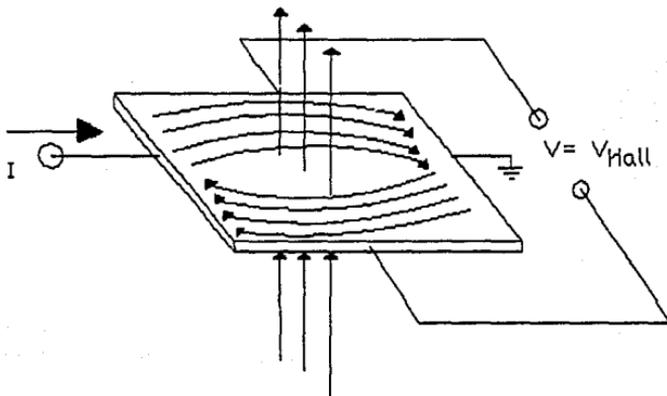


Figura 4.8 Principio de efecto Hall con campo magnético.

En la figura 4.8 se observa que al estar presente un campo magnético, la distribución de la corriente deja de ser uniforme. Esto es provocado por la presencia del campo magnético al ejercer una fuerza (de Lorentz) sobre la corriente. Lo anterior produce una diferencia de potencial en

las terminales de salida, a la cual se denomina voltaje Hall,  $V_H$ .

La ecuación básica que describe la interacción del campo magnético y la corriente resultante en el voltaje Hall es:

$$V_H = \frac{R_H}{t} \cdot I_C \cdot B \cdot \sin\theta$$

donde:

- $I_C$  = Corriente de entrada.
- $B \cdot \sin\theta$  = Componente del campo magnético perpendicular al elemento Hall.
- $R_H$  = Coeficiente Hall.
- $t$  = Espesor de la hoja de material semiconductor.

La ecuación anterior sólo tiene validez para la condición de un cociente infinito entre largo y ancho. Una ecuación más útil para un elemento Hall práctico es:

$$V_H = k \cdot I_C \cdot B \cdot \sin\theta$$

donde  $k$  se encuentra en función de la geometría, de la temperatura ambiente y de la tensión aplicada al elemento Hall.

Si se mantiene constante la corriente, se tendrá que el voltaje Hall es directamente proporcional a la componente perpendicular del campo magnético,  $B \cdot \sin\theta$ .

#### b) Transductor de efecto Hall

El elemento Hall corresponde al sensor básico de campo magnético, cuya señal de salida se encuentra en el orden de 30 microvolts ( $\mu V$ ), haciendo indispensable el uso de un acondicionador de señal.

Una vez adicionado el acondicionamiento de señal, el dispositivo es denominado transductor de efecto Hall. La electrónica requerida para el acondicionamiento de señal consiste de una etapa de amplificación y alguna forma de alimentación regulada.

El amplificador empleado debe tener las siguientes características: bajo ruido, alta impedancia de entrada y ganancia moderada.

El elemento Hall tiene dos terminales de salida, si se mide el voltaje de una de las salidas cuando no existe campo magnético aplicado, se tiene que el voltaje respecto a tierra es diferente de cero, voltaje que es denominado voltaje de modo común (common mode voltaje) y que es de igual magnitud en ambas terminales de salida. Debido a esto, es necesario utilizar un amplificador diferencial para detectar y amplificar sólo el voltaje Hall.

Para que la salida del transductor presente un voltaje que sólo refleje la intensidad del campo magnético, se necesita que la corriente de entrada del transductor sea constante, razón por la cual se emplea un regulador en el mismo circuito integrado. En los casos que el transductor no presente el regulador se requiere que la fuente de alimentación sea regulada.

El transductor tiene la capacidad de sensar campos magnéticos positivos o negativos, provocando que la salida presente polaridades positivas o negativas. Para eliminar este problema se introduce un voltaje de referencia al amplificador, de manera que la salida de voltaje sea siempre de polaridad positiva. Al voltaje de salida producido cuando el campo magnético presente vale cero, se le denomina voltaje nulo.

Para aumentar la flexibilidad de interfaz del transductor, se le adiciona a la salida del amplificador diferencial un transistor en configuración emisor abierto.

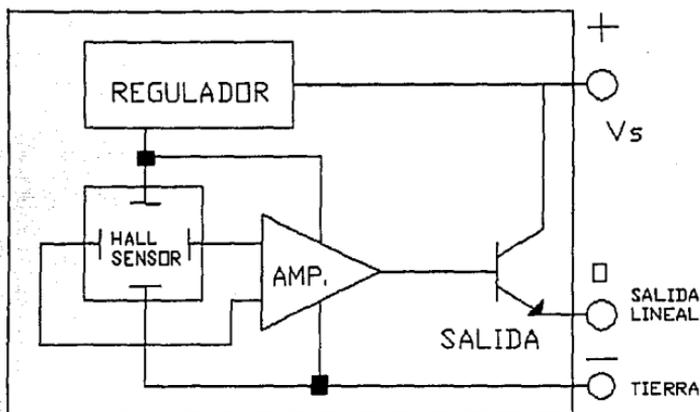


Figura 4.9 Estructura de un transductor de efecto Hall.

En la figura 4.9 se muestra el transductor con todos sus elementos que le permiten una salida lineal. Se observa que el transistor tiene el colector conectado a la fuente de alimentación de entrada, razón por la cual el rango de voltaje de salida puede manejarse según el voltaje de alimentación aplicado. A esta última característica se le denomina ratiometric (en el idioma inglés).

Si además de los elementos indicados, se coloca entre el amplificador diferencial y el transistor de salida un circuito de disparo con histéresis (Schmitt trigger), se puede manejar una salida de tipo digital.

El rango de frecuencias de operación se encuentra entre 0 Hz (estática) y 100 Khz. Operan sin que exista contacto entre el transductor y el objeto que genera el campo magnético.

#### **4.5. Elementos considerados en el diseño**

La selección de los transductores se determinó en base a las variables físicas de dureza y espesor que debe muestrear el equipo a diseñar. En esta selección se indican las características deseables de los transductores, así como las opciones viables para cada instrumento.

##### **4.5.1. Dureza (Instrumento: Durómetro)**

Para medir la dureza de las tabletas es necesario medir una fuerza, que al ser aplicada en dirección diametral le provoque una ruptura.

Debido a que la fuerza se debe de aplicar de manera lenta y creciente, se requiere de un transductor que tenga una buena respuesta a bajas frecuencias.

Opciones:

##### **a) Galgas extensiométricas**

En la actualidad son muy utilizadas para medir pesos en forma estática, su construcción es complicada ya que requiere conocimientos de mecánica de materiales, sin embargo existen

versiones comerciales que pueden adaptarse fácilmente a cualquier necesidad.

#### b) Sensores de presión

Son una adaptación de las galgas extensiométricas para la medición de presión, pero requieren de un líquido o gas para su utilización, ya sean pistones hidráulicos o neumáticos respectivamente.

#### c) Mecánica

Otra forma alternativa para crear un transductor de dureza es por medio de la utilización de un resorte, cuya deformación produce un desplazamiento; este desplazamiento puede ser convertido por algún tipo de transductor de posición.

##### - Potenciométrico

Requiere que el resorte utilizado este acoplado al cursor de un potenciómetro. Presenta problemas de temperatura y desgaste rápido, requiriéndose de un mantenimiento constante.

##### - Capacitivo

En este caso el resorte se puede utilizar para variar la distancia existente entre las placas de un capacitor.

##### - Transformador diferencial variable lineal (LDVT):

Se usa el resorte para variar la posición del núcleo de un transductor LDVT, teniéndose una salida lineal de gran resolución.

Se puede manejar un LVRT el cual tiene un principio de operación semejante.

- Transductor de efecto Hall

Consiste en colocar un imán permanente al resorte y con base a la distancia existente entre el imán y el transductor de efecto Hall se tendrá una señal eléctrica proporcional a la fuerza aplicada a la tableta.

- Sistema tiempo-fuerza

En este sistema la fuerza aplicada se incrementa en forma lineal con respecto al tiempo, de tal manera que al multiplicar el tiempo de aplicación por una constante de proporcionalidad se obtiene la fuerza total aplicada.

#### **4.5.2. Espesor (Instrumento: Medidor de espesor)**

La variable física de espesor requiere de un principio físico que traduzca "posición" a una señal eléctrica. La realización de esta prueba requiere que el transductor posea una buena respuesta a baja frecuencia.

Opciones:

a) Sistema potenciométrico

El cursor de un potenciómetro se mueve mediante un mecanismo que produce un cambio de resistencia según la posición. Tiene un bajo costo, presenta poca exactitud, baja sensibilidad, además de requerir mantenimiento constante.

#### b) Transformador diferencial variable lineal

El núcleo móvil de un LDVT se mueve por medio de un mecanismo, obteniendo una señal eléctrica proporcional a la posición. Este es uno de los métodos que proporciona una mejor resolución y exactitud, pero su precio se incrementa de manera considerable. Su salida es lineal, aunque de tipo de corriente alterna. Para el caso del LVRT se aplican las mismas ventajas y desventajas.

#### c) Capacitivo

En este caso la variación de la distancia entre dos placas de un capacitor se refleja como un cambio de la capacitancia, la cual será proporcional a la distancia entre placas. El diseño mecánico no es sencillo, además de que existe mucho contacto entre piezas mecánicas lo que introduce algunos errores.

#### d) Transductor de efecto Hall

La salida de este tipo de transductor es lineal, pero si se utiliza un imán permanente para producir el campo magnético variable (según la distancia al transductor) se tiene una función característica diferente a una recta. Sus principales ventajas consisten en tener un costo bajo y una fácil adaptación.

#### e) Medición mecánica

Por medio de un dispositivo mecánico semejante a un micrómetro movido por un motor de pasos, es posible determinar con toda exactitud cualquier distancia. Su principal ventaja radica en su capacidad de trabajar con cualquier "offset", además de que su principio de funcionamiento es sencillo. La desventaja radica en la parte mecánica del mismo, la cual requiere de piezas y ensambles de gran precisión.

#### 4.6. Bibliografía:

- a) Instrumentación Electrónica y Mediciones  
William David Cooper  
Editorial Prentice/Hall Internacional  
Segunda edición  
1982
- b) Measurement Systems: Application and Design  
Ernest O. Doebelin  
International Student Edition  
McGraw-Hill Book Company  
1975
- c) Transducers in Mechanical and Electronic  
Design  
Harry L. Trietley  
Marcel Dekker, Inc.  
1986
- d) Hall Effect Transducers: How to Apply Them as  
Sensors  
MICRO SWITCH a Honeywell Division  
1982
- e) Industrial Electronics and Robotics  
Charles A. Schuler, William L. McNamee  
Industrial Electronics Series  
International Edition  
McGraw-Hill Book Company

# CAPITULO

## 5

---

# CARACTERIZACION DEL DISEÑO

---

En este capítulo se habla del diseño, las funciones, las características de construcción, los elementos utilizados y las ventajas y desventajas que presenta el sistema PS I. La intención de este resumen es poder dar una idea sobre los problemas que implica el diseño de tal sistema, y las posibles alternativas que se pueden seguir para perfeccionarlo.

Por otra parte es importante aclarar al lector, que todos los datos que se mencionan en los siguientes incisos fueron obtenidos mediante pruebas realizadas exprofeso para este diseño, estas pruebas permitieron conocer las características y cualidades de los elementos, tanto mecánicos como electrónicos, así como certificar su correcta aplicación y configuración para la elaboración de esta tesis.

Para distribuir mejor la información referente al diseño de los instrumentos, se ha dividido este reporte en tres partes. En el presente capítulo se comentan las características y funciones del sistema maestro, y en los capítulos seis y siete se analiza el diseño y funcionamiento del durómetro y del medidor de espesor respectivamente.

## 5.1. Introducción

Para la realización del prototipo se particiona el problema en bloques, los cuales se resuelven en forma independiente para posteriormente unirse y formar el sistema completo. El empleo de esta técnica de diseño es de gran utilidad, debido a que los errores se detectan y corrigen fácilmente, disminuyéndose el costo de diseño pero elevándose el costo de implantación. Con este primer trabajo se obtienen experiencias, ideas y formas de poder reducir y perfeccionar posteriores prototipos, cabe recordar que el avance se hace mediante pasos sólidos y no por medio de brincos inconsistentes.

El sistema PS I está constituido de tres bloques o módulos perfectamente definidos y diferenciados, cada uno de ellos realiza funciones totalmente independientes, y su enlace se hace por medio de un bus de datos común y 6 líneas de control. Estos módulos son:

### a) Sistema maestro

Se encarga de concentrar los datos, sincronizar la operación de los otros módulos y proveer los medios de enlace con el medio exterior ("displays" e impresora)

### b) Durómetro

Su función es la de controlar el sistema mecánico-electrónico que determina la dureza de la tableta. Para el sistema maestro es totalmente transparente, este lo vé como dos localidades de memoria.

### c) Medidor de Espesor

Es el subsistema encargado de controlar la parte mecánica y de linealizar los datos de la parte electrónica para obtener una salida proporcional (lineal), correspondiente al espesor de la tableta. Es transparente al sistema maestro, el cual lo ve como cuatro localidades de memoria.

Cada uno de estos módulos está constituido de otros tantos bloques, de los que se habla en detalle más adelante.

Los tres módulos básicos tienen como elemento principal un microprocesador de 8 bits, que para el caso del sistema maestro es un Z80 CPU y para los otros dos módulos un MC146805E2. La razón del empleo del Z80 CPU es su gran facilidad de manejo, la posibilidad de acceso a simuladores y ensambladores, así como a una extensa librería de programas ya desarrollados. En el caso del MC146805E2 es un microcontrolador perteneciente a la familia 6805, que contiene todos los elementos esenciales para un diseño, como son:

- 2 puertos paralelos bidireccionales de 8 bits
- 1 timer con oscilador
- 64 bytes de memoria RAM interna
- 64 bytes de memoria RAM para stack

A continuación se desarrollan en detalle las características principales de cada uno de los módulos.

## 5.2. Sistema maestro

Este módulo controla y sincroniza el funcionamiento de todas las partes del sistema, además provee los medios de enlace con el mundo externo gracias a la utilización de "displays" e impresora.

El hardware es sumamente sencillo, pudiéndose considerar como un sistema digital básico. Sin embargo, con respecto al software, se tiene un conjunto de programas complejos que permiten realizar operaciones de punto fijo con números de hasta 16 bytes de longitud, así como programas de autopruueba que garantizan el buen estado de los elementos del sistema en general.

Debido a esta característica sólo se dá una breve descripción del hardware, para posteriormente comentar el funcionamiento y empleo de las rutinas de software generadas para el sistema maestro.

Con respecto al hardware, en el apéndice A se mencionan un conjunto de recomendaciones para reducir el ruido en los sistemas electrónicos.

#### **5.2.1. El hardware del sistema maestro**

El hardware está constituido de las siguientes partes:

- i) CPU (Z80 de 2.5 Mhz)
- ii) Puerto paralelo programable (8255)
- iii) Puerto serial programable (8250)
- iv) Memoria EPROM 8 Kbytes
- v) Memoria RAM

2 Kbytes	volátil	(trabajo)
256 Nibbles	no volátil	(configuración)
64 Nibbles	volátil	(pantalla)

- vi) Controlador de alimentación de voltaje

5 VCD
12 VCD
-12 VCD
127 VCA

- vii) Cuatro "push button" de entrada
- viii) Tres interruptores de 1 polo 2 tiros

Gran parte de esta configuración corresponde hoy en día a la de un microcontrolador (familia TMS38xxx, 687xx, 805x etc) y no a la de un microprocesador de propósito general como es el caso del Z80 CPU. Sin embargo el uso de este último se hizo necesaria debido a que se contaba con herramientas de diseño como son ensambladores y simuladores, y tratándose de un software complicado es casi imposible realizar un trabajo rápido y eficiente careciendo de estos elementos.

La función de cada una de las partes es muy específica y se describe a continuación:

a) Puerto paralelo 8255

Se emplea este microprocesador de propósito particular (interfaz de comunicación paralela) debido a las siguientes características:

- Compatible con el Z80
- Posee tres puertos de salida
- Es posible trabajar uno de sus puertos (C) en modo bit
- Es económico
- Es fácil de programar
- Es un producto comercial

Su función es permitir la comunicación con los módulos de dureza y medición de espesor.

Los puertos A y B se configuran como entradas, en tanto que el nibble superior del puerto C es de entrada y el nibble inferior es de salida. La asignación dada a cada uno se ve con mayor detalle en el apéndice D.

- Configuración del puerto A

Todos los bits son de entrada y provienen del medidor de dureza.

- Configuración del puerto B

Todos los bits son de entrada y provienen del medidor de espesor

- Configuración del puerto C

La asignación de este puerto se presenta en la tabla 5.1

Bit	Descripción
C1	Interrupción a medidor de espesor
C2	Línea de control del medidor de espesor
C3	Interrupción a medidor de dureza
C4	Línea de normal/calibración y control del medidor de dureza
C5	Línea de estado del medidor de espesor
C6	Línea de dato listo del medidor de espesor
C7	Línea de estado del medidor de dureza
C8	Línea de dato listo del medidor de dureza

Tabla 5.1 Configuración del puerto C

La existencia de una falla es este elemento es detectada por el sistema maestro como un error 09 ó 79.

b) Puerto serie 8250B (UART)

Al igual que el puerto paralelo existen motivos que promueven el uso de este microprocesador de comunicación serie.

- Popularidad en los sistemas personales
- Características de programación
- Compatibilidad con el estandar RS-232C
- Compatibilidad con el Z80
- Es un producto comercial

La programación de este microprocesador es sumamente sencilla, para esto se cuenta con 9 ó 10 registros (dependiendo de la versión) con funciones específicas cada uno de ellos<sup>1</sup>. Cuenta además con una facilidad de "loopback" que permite verificar su circuiteria interna. Esta función es aprovechada durante el programa general de autopruueba y en caso de existir alguna falla se genera el error 51.

Este elemento se emplea para permitir la comunicación con una impresora IBM Graphics, haciendo posible la presentación de los resultados finales.

#### c) Memorias RAM

En la lista mostrada se observó, que se usan tres distintas memorias RAM con el fin de resolver en forma eficiente y sencilla tres problemas.

La primera de ellas es la tradicional memoria RAM de 2K \* 8 (6116), que se usa como memoria de trabajo del Z80 CPU. En ella se tiene ubicado el stack, las variables de trabajo, los registros bandera, contadores, etc. De esta memoria se consume aproximadamente el 85% de su capacidad en condiciones extremas. Durante la autopruueba se verifica su buen estado y en caso de existir una anomalía el sistema genera el error 50.

---

1) PARA MAYORES DETALLES REFERIRSE AL MICROCOMMUNICATION ELEMENTS DATABOOK, NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION

La segunda memoria se emplea para guardar en forma semipermanente los factores de calibración. Esta memoria es de tipo CMOS (74C921), consume poca potencia y puede mantener sus valores sin alteración a partir de voltajes ligeramente superiores a 2 volts. Este tipo de memoria es ideal para ser respaldada por baterías y utilizarse como una memoria RAM permanente. Su organización es de 256 nibbles, por lo que es necesario la creación de un programa de conversión de bytes a nibbles y viceversa. En ella se guardan los factores de calibración, tanto del durómetro como del medidor de espesor. Para el primero se usan 8 nibbles (4 bytes), más un nibble de identificación y 2 nibbles de BCC (Block Check Code). Para el segundo se utilizan 16 nibbles (8 bytes), más un nibble de identificación y 2 nibbles de BCC.

En caso de no tener datos válidos el sistema envía los errores que son presentados en la tabla 5.2.

#### Error Descripción

52	Dato no válido para el durómetro y/o nunca se ha calibrado.
53	Dato no válido para el medidor de espesor y/o nunca se calibrado.
54	Datos no válidos en memoria o nunca se ha calibrado el sistema.

Tabla 5.2 Errores relativos a la memoria CMOS

Por último se tiene la memoria de video, a la cual tiene acceso el Z80 CPU (sólo escritura) y la circuitería de refrescamiento de displays (sólo lectura). Gracias a esta configuración es posible que el Z80 CPU esté trabajando en otras tareas sin preocuparse por el refrescamiento de los displays. La frecuencia de barrido usada es de 1.2 KHz. Por 5.8

ser una memoria de sólo escritura, la única prueba que se realiza es de tipo visual (se prenden todos los leds por un tiempo de 2 segundos).

#### d) Control de alimentación

Como su nombre lo indica, este bloque es el encargado de conectar y desconectar las fuentes de alimentación de los módulos de dureza y medidor de espesor. Esto se hace con el objeto de dar al sistema maestro un control absoluto sobre ellos, y en especial de su rutina de reset; por otra parte, en caso de existir algun error fatal en algunos de los sistemas, automáticamente se apagan las fuentes con el fin de evitar daños mayores en los circuitos.

#### e) Partes adicionales del hardware

Se emplean teclas "push button" e interruptores de 1 polo 2 tiros para que el usuario se comuniqué con el sistema maestro. En el caso de los "push buttons" se usan cuatro, realizando cada uno las siguientes funciones:

##### - Incrementa

Sirve para incrementar en una centésima, el valor desplegado en display del lado derecho, durante la rutina de calibración.

##### - Decrementa

Sirve para decrementar en una centésima, el valor desplegado en el display del lado derecho, durante la rutina de calibración

- Listo

Esta tecla se emplea durante todo el programa, y sirve para indicar la aceptación de un nuevo dato o para avisar al Z80 CPU que el usuario ha recibido el mensaje.

- Imprime

Se utiliza para indicar al Z80 CPU que el usuario desea obtener una impresión de los datos adquiridos hasta ese momento. Esta función no borra los datos obtenidos, la cuenta continúa a partir de la última lectura realizada.

La función de los interruptores es la de fijar las condiciones de trabajo del sistema en general. Esta configuración es leída por el sistema maestro durante la rutina de RESET, por lo que cambios posteriores no son tomados en cuenta; para hacer los cambios efectivos es necesario dar un reset al sistema. La función específica de cada uno de los interruptores es la siguiente:

- Normal/Calibra

Por medio de este interruptor se indica al Z80 CPU el modo de trabajo deseado. En el modo normal pueden llegar a funcionar los dos medidores en forma simultánea, en tanto que en el modo de calibración sólo es posible activar un módulo a la vez.

- Medidor de espesor

Por medio de este interruptor se prende o apaga el medidor de espesor en forma lógica. Cabe aclarar que el medidor de espesor siempre obtiene su tara no importando el estado del interruptor.

- Durómetro

Por medio de este interruptor se prende o apaga el medidor de espesor en forma lógica.

### 5.2.2. El software del sistema maestro

Es el elemento principal de este módulo, ya que contiene las rutinas de control y cálculo aritmético requeridas para realizar los trabajos demandados por el usuario.

Para poder realizar el programa es necesario dividir el problema en varias partes independientes que se llamen entre sí, sin alterar datos importante. Esta división es realizada conforme se avanza en el desarrollo del sistema, pero en síntesis los distintos subprogramas independientes son los siguientes:

- i) Reset y autoprueba
- ii) Modo normal de trabajo
- iii) Modo calibración de trabajo
- iv) Estadísticas
- v) Gráficas
- vi) Impresión
- vii) Errores
- viii) Rutinas aritméticas básicas
- ix) Rutina raíz cuadrada
- x) Rutinas de factor de corrección
- xi) Rutinas para obtención de factores

La información referente a los paquetes, sistemas utilizados y diseñados para el desarrollo del sistema PS I, se encuentra contenida en el apéndice G.

A continuación se explican las funciones y características de cada una de las rutinas enunciadas.

#### 5.2.2.1. Reset y autoprueba

Como todo sistema digital basado en microprocesador, existe una rutina encargada de programar o configurar todos los elementos que lo forman.

Dentro de la rutina de reset se realizan las siguientes acciones:

- i) Desactivan interrupciones
- ii) Inicializa el stack
- iii) Inicializa los registros bandera
- iv) Se apagan las fuentes
- v) Se configura el puerto paralelo
- vi) Se configura el puerto serial
- vii) Se realizan las rutinas de autoprueba
- viii) Obtiene la configuración
- ix) Obtiene los factores de corrección

Por su parte, las rutinas de autoprueba tienen como finalidad revisar el buen estado de algunos de los elementos esenciales y verificables con que cuenta el sistema maestro. El motivo de incluir estas pruebas, es facilitar la reparación del equipo en caso de fallas, ya que el propio sistema indicará los problemas, limitándose por tanto la región de búsqueda.

Las pruebas que se realizan son varias y variadas y a continuación se explican:

a) Prueba de los displays y leds

La primera prueba que realiza el sistema es verificar si todos los displays, leds, memoria de video y circuitos de refrescamiento y conversión funcionan correctamente. La prueba consiste en encender todos los elementos por un tiempo aproximado de 2 segundos; en caso de existir falla, esta debe de ser detectada por el usuario, ya que no existe una retroalimentación de este bloque hacia el Z80 CPU.

La falla de este subsistema no es fatal, y en caso de no ser detectada por el usuario, no se garantiza la veracidad de los información que se presenta en los displays o leds.

b) Verificación de la memoria RAM de trabajo

Esta es la segunda prueba que realiza el Z80 CPU, y consiste en realizar una serie de escrituras y lecturas para verificar las correcta retención de información por parte de la memoria. Posteriormente se hace un corrimiento de un bit a lo largo de toda la memoria (walking test), para certificar que este bit no afecta a los demás. Esta prueba consume aproximadamente 1 segundo de ejecución.

Durante esta revisión se trabaja con 2K - 16 bytes de memoria, ya que se requieren los últimos 16 bytes para el stack.

Las cantidades escritas en la memoria son las siguientes:

- FFh (11111111b)
- 00h (00000000b)
- 55h (01010101b)
- AAh (10101010b)

Estas cantidades primero son escritas en toda la memoria, y después son revisadas. En caso de existir alguna diferencia el sistema genera el error fatal 50.

En el caso de la prueba de corrimiento de bit sucede algo semejante. Al finalizar la revisión la memoria examinada contiene el valor 00h.

#### c) Verificación del UART

Esta prueba revisa el buen estado del UART, para esto aprovecha la característica de "loopback" que posee el propio integrado (8250B).

La revisión consiste en enviar y recibir 256 datos (00h a FFh) sin error, utilizando la velocidad configurada por el usuario. En caso de existir algún problema, el sistema despliega el error 51 no fatal, y detiene la ejecución de la rutina de reset hasta que el usuario presione la tecla listo, lo cual significa que el operador ha recibido el mensaje.

Cabe aclarar que la falla de este elemento no detiene al sistema, pero impide la impresión de documentos.

#### d) Verificación de la memoria CMOS

Esta revisión consiste en detectar si la memoria contiene datos válidos (factores de corrección). En caso afirmativo, estos son tomados y guardados en los registros asignados en la memoria RAM de trabajo. Por el contrario, si no existe información se generan los errores que se presentan en la tabla 5.2.

La forma como se detecta la existencia o ausencia de información es preguntando por las direcciones 00h y 50h de la memoria CMOS, si estas contienen 00h se entiende que existe información;

para cualquier otro valor no existen datos válidos.

Una vez que se ha detectado la presencia de información se procede a guardarla en la región asignada en la memoria de trabajo, durante esta transferencia se va realizando una sumatoria sin acarreo de 8 bits, la cual se compara con el último byte transferido. En caso de ser iguales se da por válida la información y para el caso contrario se genera el error correspondiente y se reinician los registros alterados.

#### e) Prueba de las teclas de control

Esta revisión consiste en verificar que todas las teclas presenten un nivel lógico "1" (no activo u oprimido), en caso de que alguno no se encuentre en este nivel, se genera el error fatal correspondiente que se presenta en la tabla 5.3.

La última tarea de la rutina de reset, es la de obtener la configuración de trabajo que presenta el sistema maestro. Esta configuración se fija mediante los interruptores que posee el sistema maestro. En caso de tenerse una configuración no válida, el sistema envía el error fatal 72.

Las configuraciones no válidas que se pueden presentar son:

- Los dos equipos están apagados lógicamente en modo normal
- Los dos equipos están apagados lógicamente en modo calibración
- Los dos equipos están prendidos lógicamente en modo calibración

En las figuras 5.1 y 5.2 se presenta el diagrama de flujo de la rutina de reset.

Error	Descripción
55	Falla de la tecla incrementa
56	Falla de la tecla decrementa
57	Falla de las teclas incrementa y decrementa
58	Falla de la tecla listo
59	Falla de las teclas listo e incrementa
60	Falla de las teclas listo y decrementa
61	Falla de las teclas listo, incrementa y decrementa
62	Falla de la tecla imprime
63	Falla de la tecla imprime e incrementa
64	Falla de la tecla imprime y decrementa
65	Falla de las teclas imprime, incrementa y decrementa
66	Falla de las teclas imprime y listo
67	Falla de las teclas imprime, listo e incrementa
68	Falla de las teclas imprime, listo y decrementa
69	Falla de las teclas imprime, listo, incrementa y decrementa

Tabla 5.3 Referencia para errores de las teclas

# RUTINA DE RESET

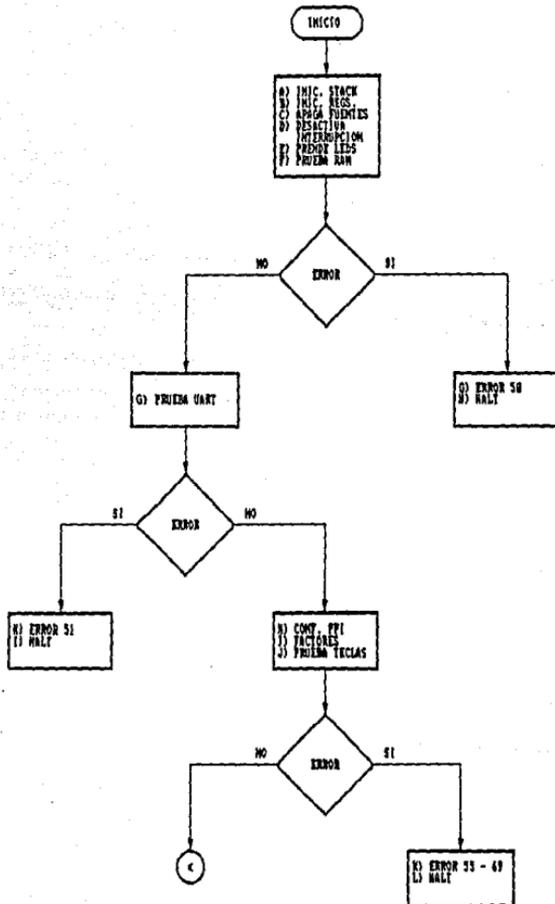


Figura 5.1

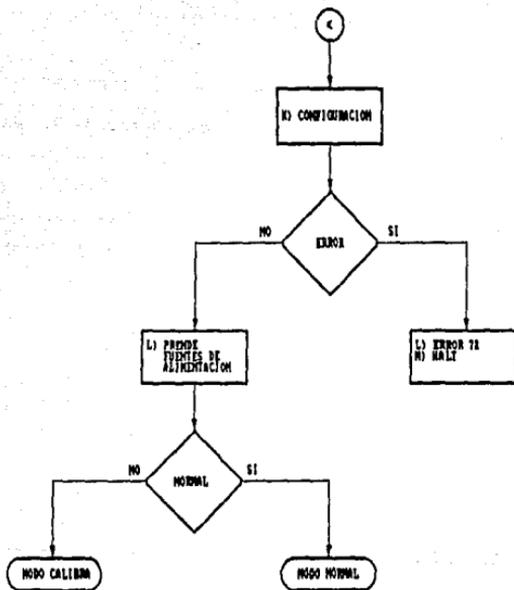


Figura 5.2

#### **5.2.2.2. Modo normal de trabajo**

Terminada la rutina de reset, existen dos posibilidades de acción dependiendo de la configuración que se haya dado al sistema. Una de esas posibilidades es el modo normal de trabajo, el cual contiene un conjunto de rutinas y subrutinas diseñadas para controlar la adquisición, almacenamiento y cálculo de los datos proporcionados por el durómetro y medidor de espesor.

Este modo controla el flujo de datos entre los sistemas y realiza un constante monitoreo de los dos subsistema para detectar cualquier falla que se pueda presentar. Además sólo dentro de este modo es posible imprimir los reportes de la información adquirida.

La única condición que altera el funcionamiento de esta rutina, es la existencia de algún error fatal o la saturación de datos en la memoria de trabajo (máximo 60 tabletas).

En las figuras 5.3 y 5.4 se presenta el diagrama de flujo para el caso de los dos equipos funcionando.

#### **5.2.2.3. Modo calibración de trabajo**

Esta es la otra posibilidad que sigue el programa en caso de presentarse la configuración correspondiente. Dentro de este modo de trabajo sólo se puede activar un subsistema a la vez.

En esta rutina, se realizan las operaciones necesarias para obtener los factores de corrección correspondientes a cada equipo, para posteriormente guardarlos en una memoria RAM permanente (CMOS).

### RUTINA MODO NORMAL DE TRABAJO

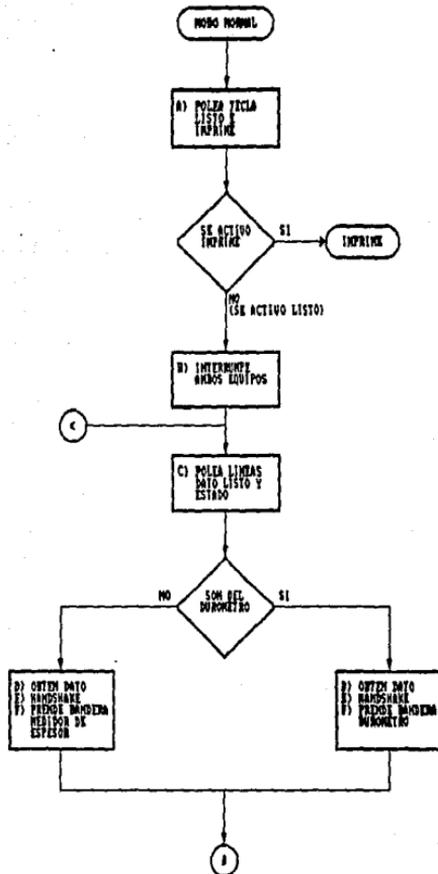


Figura 5.3

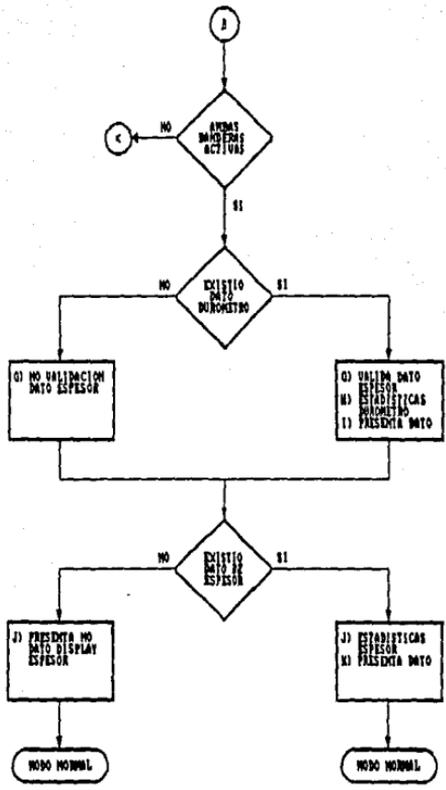


Figura 5.4

Las tareas que se realizan para cada instrumento son diferentes entre sí y a la realizadas en modo normal.

Para el caso del durómetro se tiene que el pistón de compresión no se mueve durante este modo, debido a que se calibra con pesos patrón. Por medio del display se presentan símbolos que indican la etapa en la cual se encuentra el proceso de calibración. Una vez realizadas las lecturas, aparecen en ambos displays los valores medidos por la celda de carga. Con el uso de las teclas incrementa y decrementa se altera el valor presentado en el display derecho, hasta que se tiene el valor deseado o esperado. Una vez que se tiene el dato correcto se presiona la tecla listo para indicar el fin de la calibración.

Con el medidor de espesor sucede algo distinto, primero se coloca el patrón en la base y después se presiona la tecla listo para iniciar la calibración. Posteriormente aparece en ambos displays el valor medido, y con el uso de las teclas incrementa y decrementa se altera el valor mostrado por el display derecho hasta que presente el valor esperado. Una vez corregido el dato se presiona la tecla listo para indicar el fin de la calibración.

Para mayor claridad de esta rutina se incluyen los diagramas de flujo en las figuras 5.5 y 5.6.

# MODO CALIBRACION DE TRABAJO

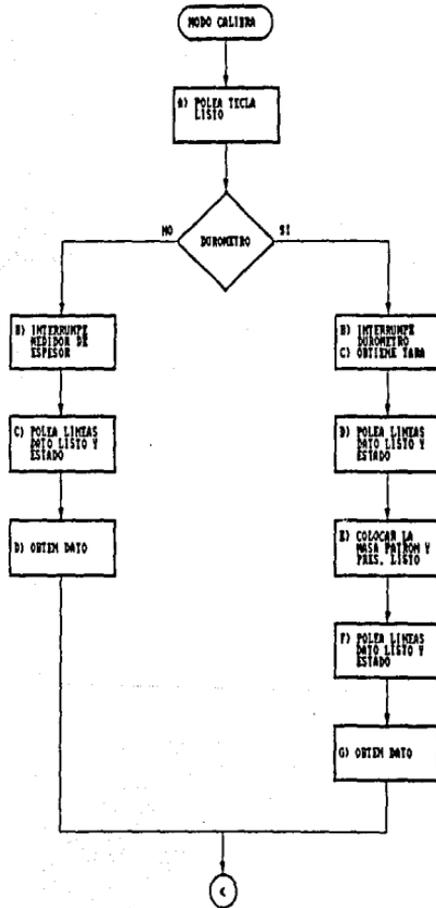


Figura 5.5

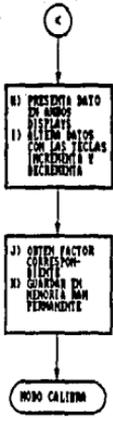


Figura 5.6

#### 5.2.2.4. Rutina de estadísticas

Los cálculos<sup>1</sup> generados por esta rutina son los siguientes:

- i) Máximo: X<sub>max</sub>
- ii) Mínimo: X<sub>min</sub>
- iii) Rango: X<sub>max</sub>-X<sub>min</sub>
- iv) Media: X/N ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

donde:  $\sum X$  = Sumatoria de la serie de valores.  
N = Número de valores.

- v) Desviación estándar (absoluta): S<sub>abs</sub> (s)

$$s = \left[ \frac{1}{N - 1} \left[ \sum (X^2) - \frac{(\sum X)^2}{N} \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde: s = Desviación estándar (estimada).  
N = Número de valores.  
 $\sum (X^2)$  = Sumatoria de valores elevados al cuadrado.  
 $\sum X$  = Sumatoria de valores.

- v) Desviación estándar relativa: S<sub>rel</sub> (RSD)

$$RSD = \frac{100s}{\bar{X}}$$

---

1) ESTOS CALCULOS SE REALIZAN DE ACUERDO A LA TEORIA VISTA EN EL CAPITULO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA QUIMICO-FARMACEUTICA

La secuencia de cálculos que se sigue sobre el dato de entrada a la rutina se puede observar en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9.

**Parámetros:**

HL = Dato obtenido por el durómetro o medidor de espesor y que fue afectado por el correspondiente factor de corrección.  
DE = Dirección base del bloque de datos de estadística del durómetro o del medidor de espesor.

Este programa copia inicialmente el bloque de datos del dispositivo correspondiente (según el contenido del registro DE), al bloque de memoria de trabajo de la rutina de estadísticas. Al terminar todos los cálculos sobre el dato de entrada, copia el contenido del bloque de trabajo al bloque que contiene los datos del dispositivo correspondiente.

Tiempo de ejecución: 0.55 segundos (estimado).

**5.2.2.5. Rutina de gráficas**

Las gráficas generadas por esta rutina sirven para observar la desviación de las tabletas con respecto al valor medio.

El algoritmo empleado encuentra los límites de los diversos rangos de porcentaje de desviación con respecto a la media de la variable. (Gráfica de control por promedios). Una vez localizados, se procede a comparar el conjunto de muestras y cuantificar el número de tabletas que incide en cada uno de los rangos manejados en la gráfica.

En el caso de la dureza el incremento de porcentaje (con respecto a la media) entre cada límite de rango es de 3% comenzando desde -31.5% hasta 31.5%.

# RUTINA DE ESTADISTICAS

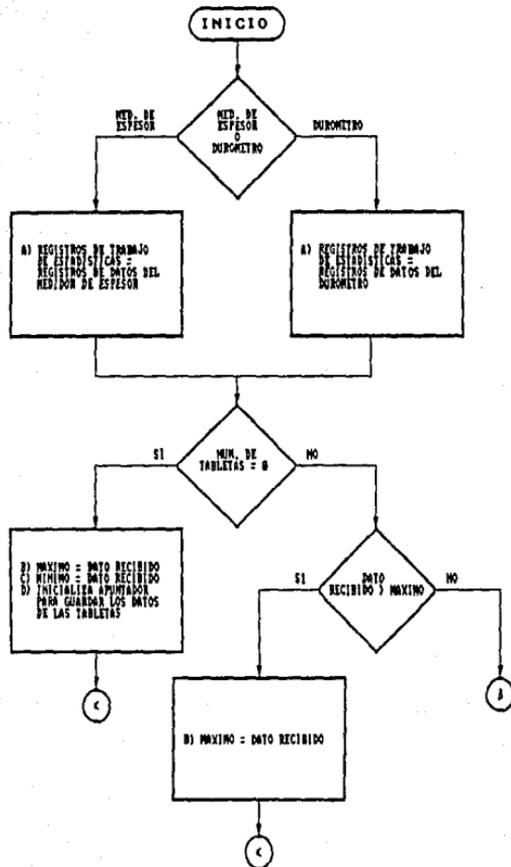


Figura 5.7

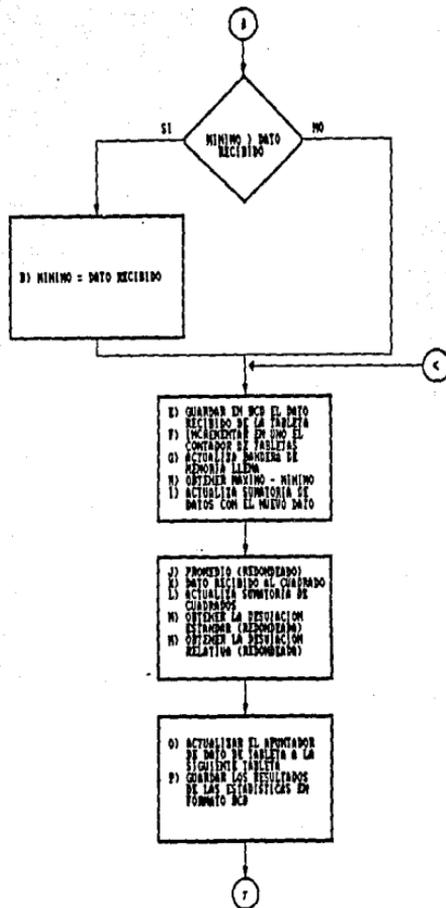


Figura 5.8

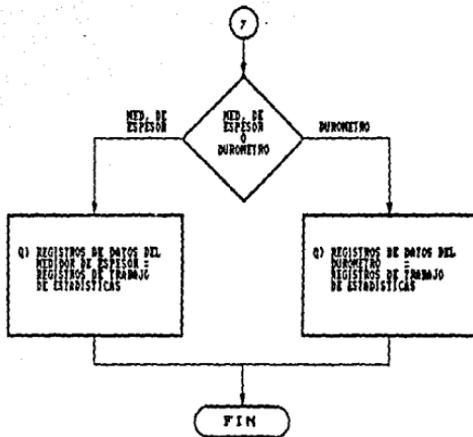


Figura 5.9

En el caso del espesor el incremento de porcentaje entre cada límite de rango es de 1% comenzando desde -10.5% hasta 10.5%.

Para ambos casos se tienen 23 rangos, esto indica que se tienen 23 contadores para cada variable, los cuales representan el número de tabletas que inciden en el correspondiente rango de porcentaje.

El algoritmo desarrollado se muestra en las figuras 5.10, 5.11 y 5.12.

**Parámetros:**

HL = Dirección base de los datos válidos para impresión.

Cada vez que se llama la rutina, el programa se encarga de borrar los contadores correspondientes, esto con el objeto de obtener valores actualizados de dichos contadores.

#### **5.2.2.6. Impresión**

Es la rutina encargada de conjuntar los datos adquiridos, para la elaboración de la impresión de salida. Se emplean una gran cantidad de programas de muy distinta índole como son:

- i) Control de impresión
- ii) Control de flujo de datos
- iii) Detección de errores
- iv) Elaboración de gráficas
- v) Elaboración de formato

Las secuencia diseñada para esta rutina, se observa mejor a través de los diagramas de flujo que se presentan en las figuras 5.13 y 5.14.

# RUTINA DE GRAFICAS

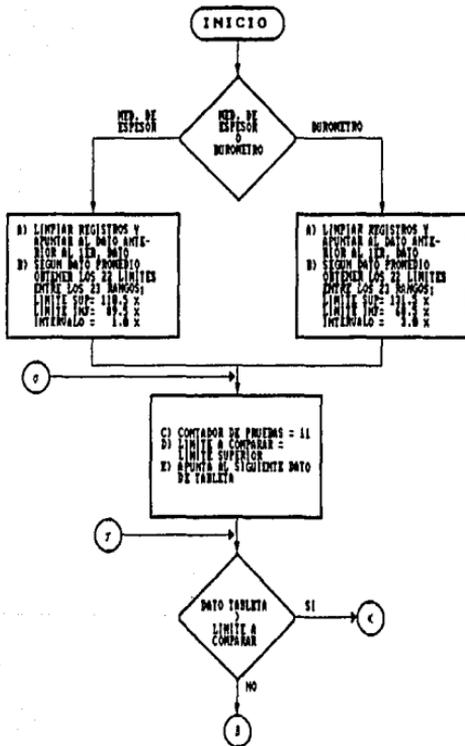


Figura 5.10

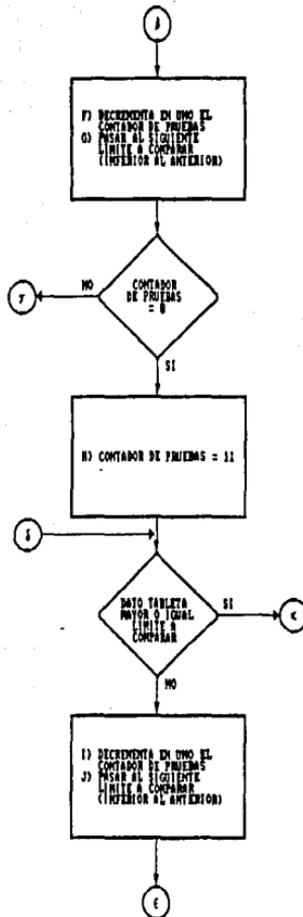


Figura 5.11

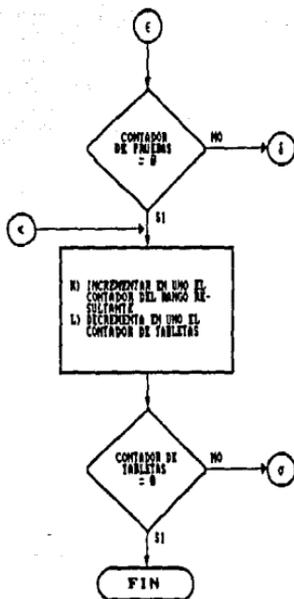


Figura 5.12

# RUTINA DE IMPRESION

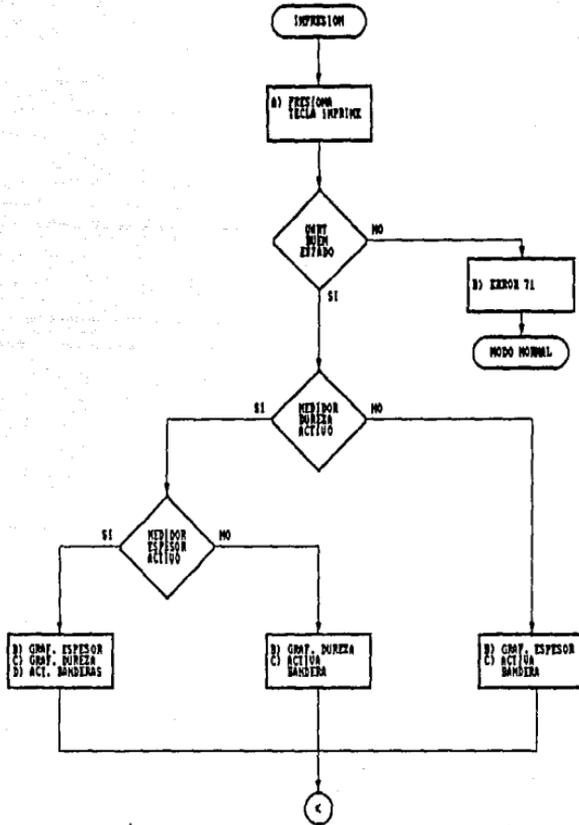


Figura 5.13

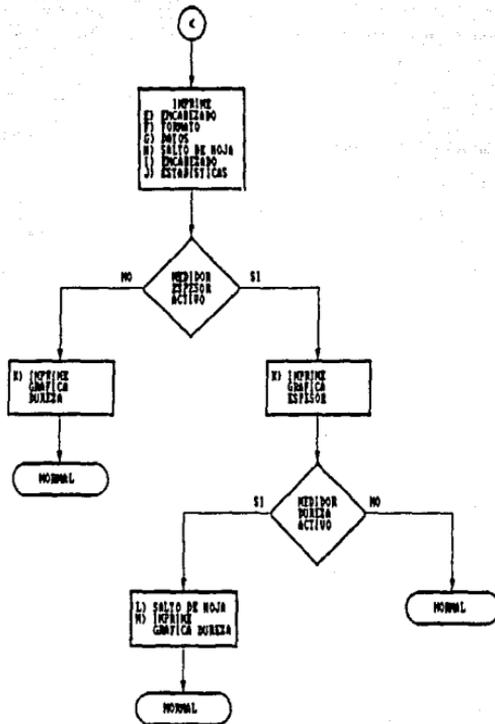


Figura 5.14

El orden en el se imprime la información es el siguiente:

- i) Título y formato de información
- ii) Lista de todos los datos adquiridos (máx. 60)
- iii) Impresión de las estadísticas
- iv) Impresión gráfica de espesor en caso de existir
- v) Impresión gráfica de dureza en caso de existir

En las siguientes hojas se muestra una copia del formato real de salida que proporciona el sistema probador de tabletas PS I.

Los errores que se pueden generar en esta rutina son el 70 y 71. El primero ocurre cuando la impresora no se encuentra lista o cuando el cable no está bien conectado, y el segundo cuando el UART no funciona y se intenta una impresión.

#### **5.2.2.7. Errores**

Esta rutina es la encargada de tomar las decisiones dependiendo del error ocurrido. Los tipos de errores que existen dentro del programa son:

- a) Errores para control interno del sistema

Son aquellos que indican al sistema la existencia de una condición anormal controlada, prevista por el propio programa, siendo procesada internamente sin requerir atención del operador.

- b) Errores de aviso al operador

Sirven para indicar al operador que ha ocurrido una condición anormal no controlada, pero prevista por el propio programa, por lo que se da aviso al usuario para que realice las actividades

**\* SISTEMA PROBADOR DE TABLETAS PS I \***

Diseño por: Patiño - Santoyo

Producto: \_\_\_\_\_  
Lote No.: \_\_\_\_\_  
Realizado por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_  
Hora: \_\_\_\_\_  
Comentarios: \_\_\_\_\_

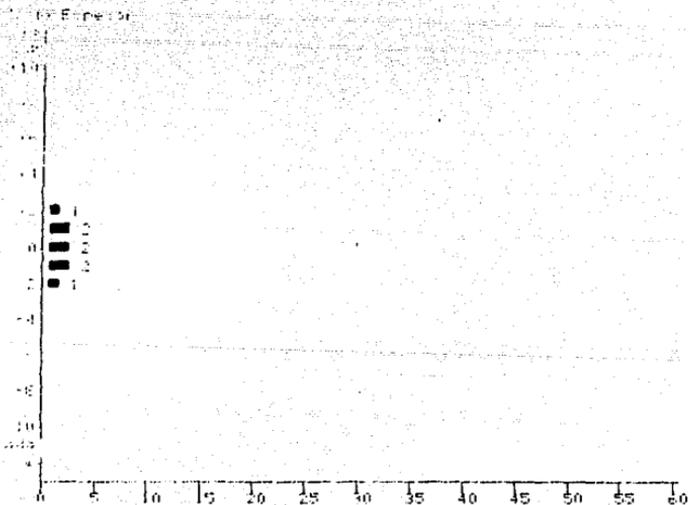
<u>Numero</u>	<u>Espesor</u>	<u>Dureza</u>
1	4.43 mm	4.98 Kp
2	4.55 mm	4.90 Kp
3	4.47 mm	6.32 Kp
4	4.50 mm	4.27 Kp
5	4.33 mm	4.98 Kp
6	4.37 mm	5.16 Kp
7	4.41 mm	4.90 Kp
8	4.43 mm	6.23 Kp

**\* SISTEMA PROBADOR DE TABLETAS PS I \***

Diseñado por: Patiño - Santoyo

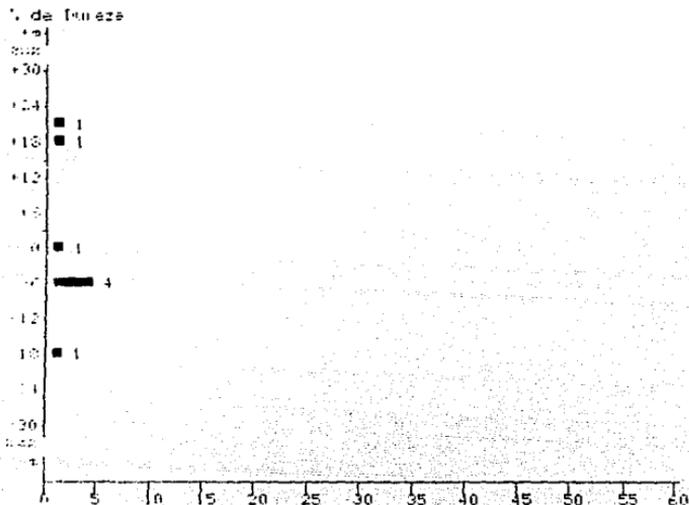
Característica	Espesor	Dureza
Base.....	8	8
Tea.....	4.55 mm	6.32 Kp
Introducción.....	4.33 mm	4.27 Kp
Desdoblamiento.....	0.22 mm	2.05 Kp
Alfabeto.....	4.44 mm	5.22 Kp
Carácter.....	0.07 mm	0.70 Kp
Resistencia.....	1.58 %	13.41 %

Se representa el valor medio en porcentajes (%).



**\* SISTEMA PROBADOR DE TABLETAS PS I \***

Diseñado por: Patiño - Santoyo



necesarias para corregirlo o considerarlo y poder continuar con las mediciones.

El sistema continúa funcionando a pesar de la existencia de este tipo de error.

### c) Errores fatales

Es el tipo de error más grave con que cuenta el programa. Este avisa al usuario que una condición anormal y no prevista por la programación está ocurriendo en alguna región del sistema (el número de error la determina), por lo que se procede a desconectar todos los sistemas para evitar el mayor daño posible. Sólo queda encendido el sistema maestro para dar la oportunidad de descargar a impresora los datos adquiridos hasta ese momento (si es posible).

A continuación se muestran en las tablas 5.4.a, 5.4.b, 5.4.c y 5.4.d un resumen de todos los posibles errores fatales y de aviso que puede presentar el sistema.

Error	Descripción
09	El durómetro no se comunica con el sistema maestro
50	Error en la prueba de la memoria RAM de trabajo
51	Error en la prueba del uart
52	Dato erróneo de calibración del durómetro
53	Dato erróneo de calibración del medidor de espesor

Tabla 5.4.a Errores fatales y de aviso

Error	Descripción
54	Datos erróneos de calibración en durómetro y medidor de espesor
55	Falla en tecla incrementa
56	Falla en tecla decrementa
57	Falla en teclas incrementa y decrementa
58	Falla en tecla listo
59	Falla en teclas incrementa y listo
60	Falla en teclas decrementa y listo
61	Falla en teclas incrementa, decrementa y listo
62	Falla en tecla imprime
63	Falla en teclas incrementa y imprime
64	Falla en teclas decrementa y imprime
65	Falla en teclas incrementa, decrementa e imprime
66	Falla en teclas listo e imprime
67	Falla en teclas incrementa, listo e imprime

Tabla 5.4.b Errores fatales y de aviso  
(continuación)

Error	Descripción
68	Falla en teclas decrementa, listo e imprime
69	Falla en teclas incrementa, decrementa, listo e imprime
70	Impresora no lista
71	Impresión imposible por mal funcionamiento del uart
72	Error en la configuración Sólo se puede dar en el ciclo de reset
73	Error en el "handshake" de datos con el durómetro. Sólo se puede dar en el ciclo de reset
74	Error en el "handshake" de datos con el medidor de espesor. Sólo se puede dar en el ciclo de reset
75	Errores en el "hanshake" de datos con el durómetro y el medidor de espesor. Sólo se puede dar en el ciclo de reset
76	Error en la secuencia de datos del durómetro
77	Error en la secuencia de datos durante la calibración del durómetro

Tabla 5.4.c Errores fatales y de aviso (continuación)

79	El medidor de espesor no se comunica con el sistema maestro durante el reset
84	Durante el ciclo de reset indica un sobreflujo en la lectura del medidor de espesor. Después del ciclo de reset indica un error en la secuencia de transmisión de datos del medidor de espesor

Tabla 5.4.d Errores fatales y de aviso (continuación)

#### 5.2.2.8. Rutinas aritméticas básicas

Para la elaboración de varios de los programas es necesario contar con rutinas aritméticas<sup>1</sup> básicas:

##### a) Adición binaria de precisión múltiple

Suma dos números binarios multi-byte no signados. La suma reemplaza al sumando. El programa borra inicialmente la bandera de "carry" y suma los operandos un byte a la vez, empezando con los bytes menos significativos. La bandera de "carry" refleja la suma de los bytes más significativos.

Tiempo de ejecución:  $46 * N + 18$  ciclos de reloj.  
 $N$  = Número de bytes de los operandos (de igual longitud).

---

1) 280 ASSEMBLY LANGUAGE SUBROUTINES  
 LANCE A. LEVENTHAL & WINTHROP SAVILLE  
 OSBORNE/MC GRAW HILL

**Parámetros:**

B = Largo de los operandos en bytes.  
HL = Dirección base del sumando.  
DE = Dirección base del sumador.

**b) Substracción binaria de precisión múltiple**

Resta dos números binarios multi-byte no signados. La diferencia reemplaza al minuendo. El programa borra inicialmente la bandera de "carry" y resta los operandos un byte a la vez, empezando con los bytes menos significativos. La bandera de "carry" refleja la resta de los bytes más significativos.

Tiempo de ejecución:  $46 * N + 22$  ciclos de reloj.  
N = Número de bytes de los operandos (de igual longitud).

**Parámetros:**

B = Longitud de los operandos en bytes.  
HL = Dirección base del minuendo.  
DE = Dirección base del sustraendo.

**c) Multiplicación binaria de precisión múltiple**

Multiplica dos números binarios multi-byte no signados. El producto reemplaza al multiplicando. El programa utiliza un algoritmo ordinario de corrimiento y suma, sumando el multiplicador al producto parcial cada vez que encuentra un bit 1 en el multiplicando. El producto parcial y el multiplicando sufren corrimientos en número igual al largo en bits de los operandos más uno; el corrimiento extra mueve el "carry" final dentro del producto.

Tiempo de ejecución:  $728*L^2 + 883*L + 300$  (aprox.)  
ciclos de reloj.

L = Número de bytes en los operandos.

Esto se cumple si el número promedio de 1's por  
byte del multiplicando es de cuatro.

Parámetros:

B = Largo de los operandos en bytes.

HL = Dirección base del multiplicando.

DE = Dirección base del multiplicador.

#### d) División binaria de precisión múltiple

Divide dos números binarios multi-byte no  
signados. El cociente reemplaza al dividendo, la  
dirección del byte menos significativo del residuo  
se regresa en HL. La bandera de "carry" se borra  
si no hay errores; si se intenta una división  
entre cero, la bandera de "carry" se pone en 1, el  
divisor no es alterado y el residuo es puesto en  
cero.

El programa divide con el usual algoritmo de  
corrimiento y resta, el dividendo y el cociente  
sufren corrimientos y se coloca un uno en el  
cociente cada vez que un intento de resta es  
exitoso. Se utiliza una región extra de memoria  
para guardar el resultado del intento de resta,  
esta zona de memoria se conmuta con el dividendo  
si el resultado de la resta es exitoso.

Tiempo de ejecución:  $1176*L^2 + 2038*L + 515$   
(aprox.) ciclos de reloj.

L = Número de bytes en los operandos.

Esto se cumple si el número promedio de 1's por  
byte del dividendo es de cuatro.

Parámetros:

B = Largo de los operandos en bytes.

HL = Dirección base del dividendo.

DE = Dirección base del divisor.

#### e) Comparación binaria de precisión múltiple

Compara dos números binarios multi-byte no signados. La bandera "cero" se pone en uno si los operandos son iguales, y en cero en caso de ser diferentes. La bandera de "carry" se cambia a uno si el sustraendo es mayor que el minuendo y en cero si el sustraendo es menor o igual que el minuendo. El programa compara los operandos un byte a la vez, empezando con los bytes más significativos hasta encontrar los bytes correspondientes que no sean iguales (si los hay).

Tiempo de ejecución:  $44*N + 60$  ciclos de reloj.  
N = Número de bytes en los operandos.

#### Parámetros:

B = Largo de los operandos en bytes.  
HL = Dirección base del minuendo.  
DE = Dirección base del sustraendo.

Debe de tomarse en consideración que para todas las operaciones descritas las direcciones base apuntan a los bytes menos significativos de los operandos (direcciones más bajas).

Además, todas las rutinas pueden trabajar con operandos de hasta 255 bytes, pero se configuraron para manejar 16 bytes de largo.

#### 5.2.2.9. Rutina de raíz cuadrada

Para esta rutina se usó inicialmente un algoritmo que se basa en encontrar la cantidad de números impares (diferentes y en orden creciente) que sumados tienen un valor igual o menor al valor del número del cual se desea obtener su raíz cuadrada. Con este algoritmo se logran resultados

que cumplen con la exactitud requerida, pero se descarta por ser sumamente lento.

Otra opción consiste en utilizar tablas de valores en memoria, pero este método no ofrece el poder manejar la exactitud requerida en los resultados y además consume mucha memoria.

Por lo anterior se implementó un algoritmo propio que cumple con los requerimientos de exactitud y su tiempo de ejecución es pequeño. Dicho algoritmo se muestra en las figuras 5.15, 5.16 y 5.17.

El programa puede obtener la raíz cuadrada de un número de hasta 255 bytes pero se configuró para manejar hasta 16.

Parámetros:

B = Largo de los operandos en bytes.

HL = Dirección base del número del que se obtendrá su raíz cuadrada.

El resultado de la operación sustituye al número cuya dirección base es dada como parámetro en HL.

Tiempo de ejecución estimado (comparación):

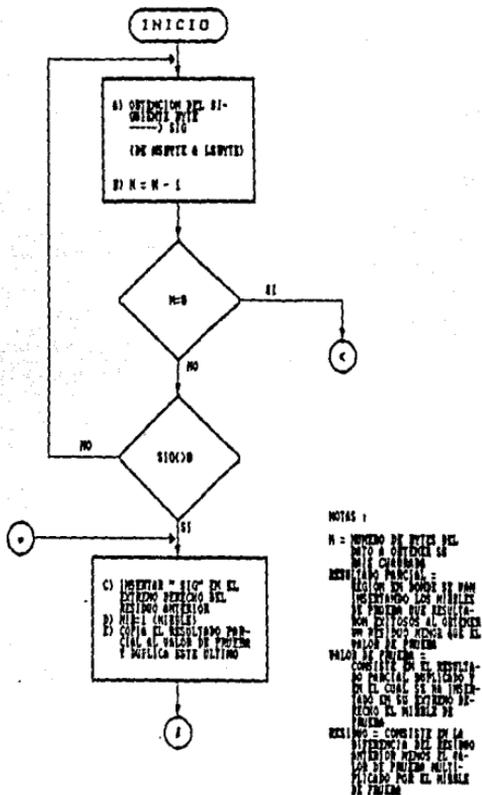
Si el reloj del sistema es de 1.2 MHz.

Para un operando de 4 bytes de longitud y de valor máximo (FFFFFFFh) se estima:

i) Algoritmo de sumatoria de números impares:  
8.42 segundos

ii) Algoritmo propio: 0.21 segundos

# RUTINA DE RAIZ CUADRADA



**NOTAS :**

N = NUMERO DE PARES DEL  
 DATO A OBTENER SE  
 DEBE GUARDAR  
 RESULTADO PARCIAL =  
 SIGLON DE MONO DE PAM  
 INSERTANDO LAS MUEBLAS  
 DE PROBLEMA QUE RESULTAN  
 SON EFECTOS AL ORDENAR  
 UN PARIOS HASTA QUE EL  
 VALOR DE PROBLEMA  
 VALOR DE PROBLEMA =  
 COMIENZA EN EL RESULTA-  
 DO PARCIAL, DESPUES DE  
 EL CUAL SE VA INTER-  
 TANDO EN SU ORDEN DE  
 MUEBLAS AL MUEBLA DE  
 PROBLEMA  
 RESULTADO = COMIENZA EN LA  
 DIFERENCIA DEL RESULTADO  
 ANTERIOR MENOS EL AC-  
 TUAL DE PROBLEMA MULTI-  
 Plicado POR EL MUEBLA  
 DE PROBLEMA

Figura 5.15

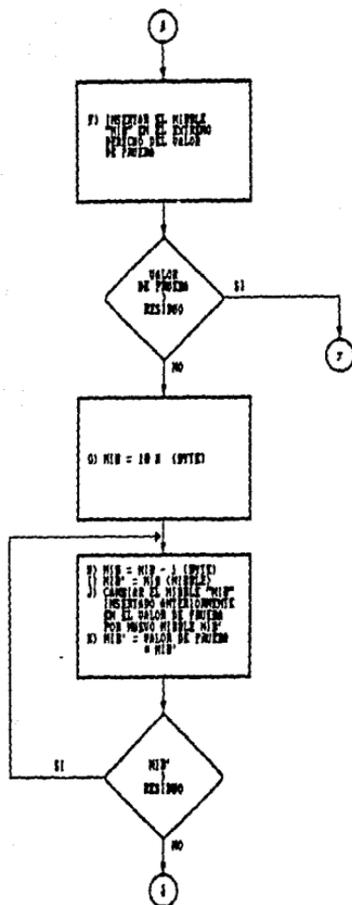


Figura 5.16

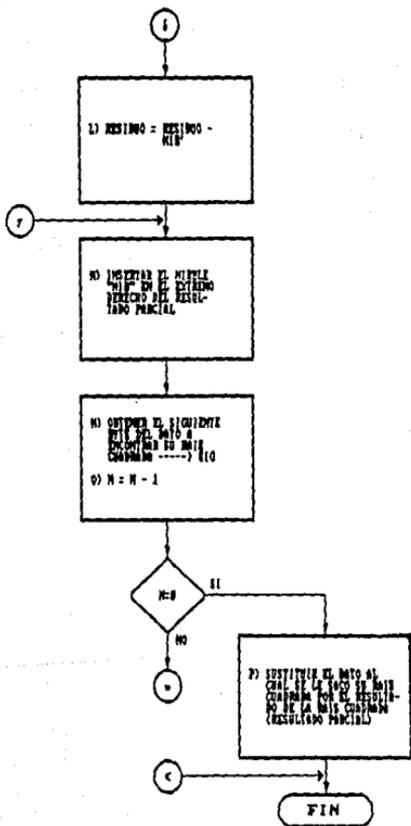


Figura 5.17

#### 5.2.2.10. Rutinas de factor de corrección

Debido a que el sistema diseñado es susceptible de ser calibrado, es necesario la elaboración de rutinas que se encarguen de corregir las lecturas obtenidas por los medidores. Las rutinas en cuestión son las siguientes:

##### a) Factor de corrección del medidor de espesor (CFM)

El algoritmo usado consiste en multiplicar el dato recibido del medidor de espesor por el factor de corrección de espesor y al resultado obtenido dividirlo entre OFFFFFFFFFFFFFFFh.

Parámetro:

HL = Lectura del medidor de espesor a ser corregida.

El programa regresa en HL el dato corregido y redondeado a dos decimales. Con base en este dato se realizan las estadísticas de las mediciones de espesor.

##### b) Factor de corrección del durómetro (CFD)

El algoritmo usado consiste en multiplicar el dato recibido del durómetro por el factor de corrección de dureza.

Parámetro:

HL = Lectura del durómetro a ser corregida.

El programa regresa HL con el dato corregido y redondeado a dos decimales. Con base en él se realizan las estadísticas de las mediciones.

### 5.2.2.11. Rutinas para la obtención de factores

Estas rutinas se encargan de obtener los factores de corrección para las lecturas del medidor de espesor y del durómetro. Dichos factores se obtienen durante el proceso de calibración de cada uno de los medidores. Las rutinas en cuestión son las siguientes:

- a) Rutina para obtener el factor de corrección del medidor de espesor (CALMIC)

El algoritmo utilizado consiste en multiplicar la lectura corregida en la calibración por 0FFFFFFFFFFFFh y dividir este resultado entre el dato obtenido por el medidor de espesor.

Parámetros:

HL = Lectura obtenida en el proceso de calibración.

DE = Dato de salida corregido del medidor de espesor.

- b) Rutina para obtener el factor de corrección del durómetro (CALDURO):

El algoritmo utilizado consiste en multiplicar la lectura corregida en la calibración por  $255 * 10^6$  y dividir este resultado entre el dato obtenido por el durómetro.

Parámetros:

A = Lectura no corregida del durómetro.

HL = Dato de salida corregido en la calibración.

Ambas rutinas actualizan los factores de corrección que se encuentran almacenados en la memoria de configuración (memoria RAM CMOS con pila).

### 5.3. Bibliografía

- a) CMOS Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
Second Edition  
1988
- b) TTL Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
1986
- c) Z80 Assembly Language Subroutines  
Lance A. Leventhal, Winthrop Saville  
Osborne/McGraw-Hill  
1983
- d) Industrial Electronics and Robotics  
Charles A. Schuler, William L. McNamee  
Industrial Electronics Series  
International Edition  
McGraw-Hill Book Company
- e) Noise Reduction Techniques in Electronic  
Systems  
Henry W. Ott  
Wiley Interscience  
2nd. Edition  
1988
- f) 101 Projects for the Z80  
Frank P. Tedeschi and Robert Colon  
Tab Books Inc.  
1983
- g) Lógica Digital y Diseño de Computadores  
Morris Mano  
Prentice Hall Hispanoamericano  
1982

- h) Power Semiconductor Circuits  
Dewan, Straughen  
John Wiley & Sons.
- i) Microprocessor and Peripheral Handbook,  
Volume II Peripheral  
INTEL  
1988
- j) Manuales de Motorola, Inc.
  - Memory Data 1988
  - CMOS Logic Data 1985
  - Bipolar Transistor Power Data 1987
  - Linear and Interface Integrated Circuits 1987
- k) Manuales de National Semiconductor Corporation
  - Microcommunications Elements Data Book.  
Rev. 1. 1987
  - Special CMOS Logic Data 1982
- l) Manuales de Texas Instruments
  - Standard TTL, Vol. 2. 1985
  - Interface Circuits Data Book 1987
  - Power Data Book 1987

# CAPITULO

## 6

---

### DUROMETRO

---

Un durómetro es un dispositivo que permite determinar el grado de cohesión que existe en un objeto, que para el caso son las tabletas. La unidad empleada para medir el grado de dureza es el Newton en el sistema MKS, o el Kgf o Kp en el sistema internacional.

La razón de medir la dureza de una tableta radica en su relación con el tiempo de desintegración, así como el grado de resistencia que presenta al empaque y transporte.

Dentro del durómetro se encuentran varias partes o bloques que realizan tareas muy específicas (diseño modular), estas partes son las siguientes:

- i) Celda o célula de carga
- ii) Bloque mecánico
- iii) Bloque analógico
- iv) Bloque digital

Cada una de estas partes se diseña, implementa y prueba, independientemente, siguiendo el orden que se presenta, de tal forma, que conforme se avanza en el diseño se van delimitando

las características que tendrán los últimos bloques (parte analógica y parte digital).

### 6.1. Celda de carga<sup>1</sup>

En el prototipo expuesto, el elemento esencial del durómetro lo constituye una celda de carga que utiliza galgas extensiométricas (strain gages) como elemento de medición conectadas en puente de Wheatstone.

La celda empleada es de fabricación española y cuenta con 5 galgas montadas y conectadas de tal forma que compensan efectos de temperatura y efectos de esfuerzo axial. La celda de carga sólo funciona a la compresión y tiene una capacidad nominal de 30 kg (máxima 32 kgf). Para mayor información sobre proveedores favor de referirse al apéndice B.

En el diagrama que se muestra en la figura 6.1, se observa que cuando un par de galgas están a la tensión (digamos las superiores), otro par de galgas se encuentran a la compresión (inferiores). Este arreglo sirve para compensar el efecto de temperatura, siendo uno de los más recomendados cuando se requiere gran estabilidad en las lecturas. Cabe recordar que sin compensación de temperatura, bastan unos cuantos grados de variación para provocar que la salida de la celda salga fuera de su rango de trabajo. La quinta galga se encuentra con un desplazamiento de 90 grados con respecto a las anteriores, su objetivo es el de eliminar, hasta cierto grado, el efecto de los esfuerzos axiales que se puedan presentar.

---

1) Estrictamente una celda de carga es cualquier dispositivo capaz de sensar un peso o presión, no importando el principio que utilice.

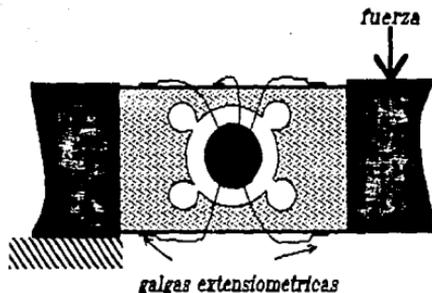


Figura 6.1 Celda de carga.

#### 6.1.1. Características de la celda de carga<sup>1</sup>

La celda de carga tiene como misión transformar las presiones que actúan mecánicamente sobre ella en una señal de tensión eléctrica a su salida.

Está compuesta por un cuerpo metálico de características elásticas y de pureza muy especiales. Sobre el cuerpo metálico están adheridas cuatro galgas extensiométricas, conectadas en puente de Wheatstone. Si se aplica una fuerza sobre el plato, soportado directamente por la celda de carga, el cuerpo metálico de la misma sufre una deformación que a su vez repercute sobre las galgas, provocando en éstas una variación óhmica.

---

1) ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE EPEL S.A.

Alimentando la celda con carga de 10V, se obtiene a la salida una variación de tensión que es proporcional a la fuerza aplicada. Como eléctricamente la celda se comporta como un puente de Wheatstone, existe una entrada formada por dos terminales (IN+) cable de color rojo e (IN-) cable de color negro. La señal de salida se obtiene entre otras dos terminales (OUT+) cable verde y (OUT-) cable blanco.

La celda de carga, por sí misma posee un tope interior regulado por el fabricante, que la autoprotege del efecto de carga directa.

Las principales mediciones que se realizan para determinar si una celda está bien son:

a) Resistencia de entrada

Con un multímetro se mide la resistencia entre los cables rojo y negro, debiendo dar unos 390 ohms  $\pm$  2%.

b) Resistencia de salida

Con un multímetro se mide la resistencia entre los cables verde y blanco, debe de dar unos 350 ohms  $\pm$  2%.

c) Desplazamiento de cero

Alimentando la celda con 10V ( entre el cable rojo y negro), debe de dar a la salida (entre el cable verde y blanco), un voltaje aproximado de 0 mV (sin plato ni cruz)  $\pm$  1% (0.180 y 0.240nV)

d) Aislamientos

Con un multímetro, en medida de Siemens o en su defecto en medida de resistencias del orden de megaohms, se verá la resistencia entre cada uno de los cables y la carcasa metálica de la celda,

debiendo dar un valor superior o igual a 5000 megahms por toda la superficie.

Cuando se cambie una celda de carga deberá reajustarse la balanza así como el tope mecánico exterior de la celda. Este se ajusta colocando la máxima carga permitida por la balanza, entonces se acciona sobre el tornillo que hace de tope mecánico en el sentido de aproximación a la celda (hasta que la toque), esto se sabe porque baja el peso indicado en el display. Luego se da media vuelta hacia abajo (alejándose de la celda) y se fija con una tuerca que lleva. De esta manera aunque se dejen pesos superiores a los permitidos la celda quedará a salvo.

Las principales características eléctricas y mecánicas se muestran en la tablas 6.1a y 6.1b.

CARGAS NOMINALES:	5, 8, 13, 17, 32 Kg
SENSIBILIDAD:	2.2 mV/V $\pm$ 12%
COEFICIENTE DE TEMPERATURA SENSIBILIDAD:	< $\pm$ 0.0013 %S/C
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE CERO:	< $\pm$ 0.0035 %S/C
MARGEN TEMPERATURA COMPENSADO (grados cent.):	-10 a 50
RESISTENCIA DE ENTRADA:	390 $\pm$ 10
RESISTENCIA DE SALIDA:	350 $\pm$ 2
SALIDA SIN CARGA:	< $\pm$ 1% SENSIBILIDAD
TENSION DE ALIMENTACION:	10V DC (MAX 15 VDC)

Tabla 6.1a Características de la celda de carga

LIMITE MECANICO DE SERVICIO:	120% CAPACIDAD MAX
LIMITE MECANICO MAXIMO:	150% CAPACIDAD MAX
LIMITE MECANICO RUPTURA:	300% CAPACIDAD MAX
CREEP:	<0.04% S en 8 horas
ERROR COMBINADO:	<0.03% S
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO:	> 5,000 M

Tabla 6.1b Características de la celda de carga

### 6.1.2. Caracterización de la celda de carga

Para familiarizarse con la celda de carga es necesario construir una fuente regulada de 10 V (estándar recomendado para los transductores de medición) y utilizar un voltmetro con una impedancia de entrada de 10 Mohms, ya que un instrumento de menor impedancia carga la celda. Después de realizar varias pruebas se determinó que el rango de trabajo del transductor se encuentra entre los 0.1 y 13.0 milivolts. Además se observó que las salidas OUT(+) y OUT(-) presentan una señal de modo común de aproximadamente 4.5 volts, lo que determina la necesidad de utilizar un amplificador diferencial con alta impedancia de entrada para poder trabajar con la señal.

Otra forma de conocer las características de la celda es observando su "Gage Factor"<sup>1</sup> (GF), que para el caso no proporcionó el fabricante, y su coeficiente térmico de resistencia (TCR sus siglas en ingles de Temperature Coefficient of Resistance), ya que estos permiten calcular en forma teórica el error que introduce la celda con

---

1) ESTAS CARACTERISTICAS SE MENCIONAN EN EL CAPITULO DE TRANSDUCTORES.

los cambios de temperatura. El TCR de sensibilidad que proporciona el fabricante es de 13 ppm/°C, este valor se considera razonablemente bueno según los estándares<sup>1</sup>, sin embargo el TCR de cero es de 35 ppm/°C por lo que se introduce un error significativo en la celda. Este error se reduce mediante la utilización de una tara antes de realizar cualquier medición.

Para caracterizar la celda, se utilizaron masas patrón de 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 15000 gramos y combinaciones de estas para obtener más puntos.

De las pruebas realizadas se obtuvieron los valores significativos que se presentan en la tabla 6.2.

Resistencia de entrada de la celda:	392 $\Omega$
Resistencia de salida de la celda:	352 $\Omega$
Span de la celda @ 10V en mV:	0.1 a 13
Variación de resistencia:	< 1 $\Omega$
Deformación a carga máxima:	< 3 mm

Tabla 6.2 Valores significativos de la celda de carga.

Se realizaron 5 tablas de 50 puntos cada una, con ganancias de 1, 100, 300, 320 y 400 a partir de la salida del transductor. Por medio de análisis por computadora, se mezclaron las 5 gráficas para comprobar la correcta linealización de la celda. Para el diseño del prototipo la ganancia usada es de 300 ya que para 5V se tienen 25,400 gr (5V es la entrada máxima en un ADC803), esta fuerza es inferior a la máxima de la celda,

1) TRANSDUCER IN MECHANICAL AND ELECTONIC DESIGN  
(PAG. 49)

pero es suficiente para realizar pruebas a las tabletas, las cuales tienen un promedio aproximado de dureza de 10 kp.

En la figura 6.2 se muestra la función de transferencia utilizada en el diseño.

Ganancia total de 300

Ganancia diferencial 3

Ganancia amplificador 100

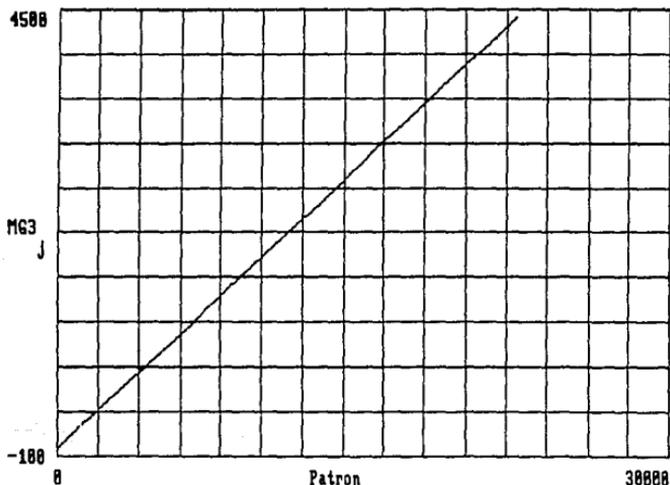


Figura 6.2 Gráfica de voltaje de salida vs. peso.

Se observa que la celda presenta un comportamiento lineal en todo su rango de trabajo,

por lo que no es necesario realizar ninguna modificación al dato convertido por el ADC.

La única salvedad de tomarse en cuenta, es la existencia de una pequeña diferencia en la salida de la celda cuando está en posición horizontal, con respecto a la posición vertical; esta diferencia es de aproximadamente 200 gramos y se compensa fácilmente con el uso de valores tara o por medio de la introducción de pequeños offsets en los amplificadores.

## **6.2. Bloque mecánico**

El diseño mecánico que se presenta cumple con las funciones mínimas necesarias para poder realizar el acoplamiento del transductor utilizado.

Las partes que lo componen son las siguientes:

### **a) Motor de avance**

- Motor ac de 1/40 de C.P.
- 1800 RPM
- Giro a la derecha

### **b) Motor de retroceso**

- Motor de ac de 1/40 de C.P
- 3600 RPM
- Giro a la izquierda

### **c) Celda de carga**

- Elemento transductor

### **d) Transmisión de potencia**

- Es el elemento que transforma la velocidad de los motores en fuerza de compresión para ser aplicada a las tabletas.

Para la fabricación de un pistón de compresión se pueden seguir muchos métodos, es por eso que sólo se enumeran algunas de las posibles formas de realizarlo, quedando abierta la opción a nuevas técnicas.

#### a) Cremallera y piñón

Es un mecanismo semejante al que se utiliza en los microscopios por su gran precisión al realizar movimientos (figura 6.3).

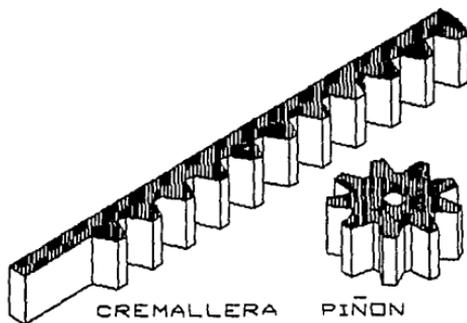


Figura 6.3 Cremallera y piñón.

Una cremallera se define como un engrane dentado cuyo radio es infinito, y un piñón como un engrane con pocos dientes. Los durómetros presentan este tipo de mecanismo en su diseño, con el piñón acoplado a una transmisión de potencia. Este tipo de sistema presenta una pendiente de aplicación de fuerza altamente lineal, sin embargo son muy susceptibles al desgaste mecánico en caso de diseñarse mal. La construcción de la cremallera y del piñón requiere la realización de cálculos mecánicos (tamaño, grosor, longitud) y la determinación de los materiales que se utilizarán para su construcción (acero, acero templado etc.).

Esto implica un gran costo de diseño por lo que para esta tesis se descartó esa posibilidad.

#### b) Pistones neumáticos e hidráulicos

El siguiente caso analizado es la utilización de pistones neumáticos o hidráulicos, estos últimos proporcionan fuerzas muy elevadas por lo que son empleados en la industria de la construcción, para determinar la dureza del concreto. Este elemento es realmente una opción viable desde el punto de vista económico y mecánico, ya que es poco costoso, es fácil de instalar y su pendiente de aplicación de fuerza es suficientemente lineal. El gran inconveniente que presenta es la necesidad de contar con un compresor de aire interna o externamente al sistema.

#### c) Tornillos y correderas

Por último se tiene el caso del uso de los tornillos y correderas. Este mecanismo es de "fácil" implantación, pero presenta grandes desventajas; una de ellas es la poca linealidad en la aplicación de la fuerza sobre el objeto, ya que existen pequeños brincos a lo largo del trayecto de compresión. Existen también muchos problemas de desgaste prematuro debido a la fricción.

De los casos anteriores, se diseñó y construyó el mecanismo basado en el tornillo y corredera. El acoplamiento de las partes es de la siguiente manera:

Los motores de ac se unen a través de una cruceta para poder girar el tornillo hacia ambos lados y poder avanzar y retroceder el pistón.

Uno de los extremos de los motores se encuentra conectado a una transmisión de potencia

con una relación de vueltas de aproximadamente 1:25. La salida de esta transmisión de potencia, a su vez, está acoplada al tornillo que lleva montado el pistón de compresión.

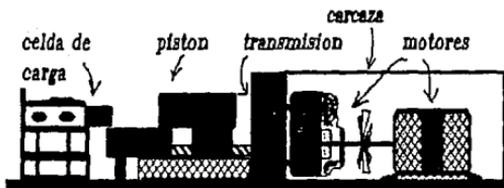


Figura 6.4 Esquema general del durómetro.

Finalmente en el otro extremo del sistema se encuentra montada la celda de carga. En la figura 6.4 se muestra una vista general del sistema. Para información referente a proveedores de motores y transmisiones favor de referirse al apéndice C.

El pistón de compresión se hizo a partir de uno de varios bosquejos realizados. Para la construcción se elaboró un plano con dimensiones y se utilizaron los metales más rígidos y resistentes de uso común. Se realizaron varios modelos con el fin de obtener el pistón requerido para el sistema.

En la figura 6.5 se muestra un bosquejo del pistón que se presenta en el prototipo.

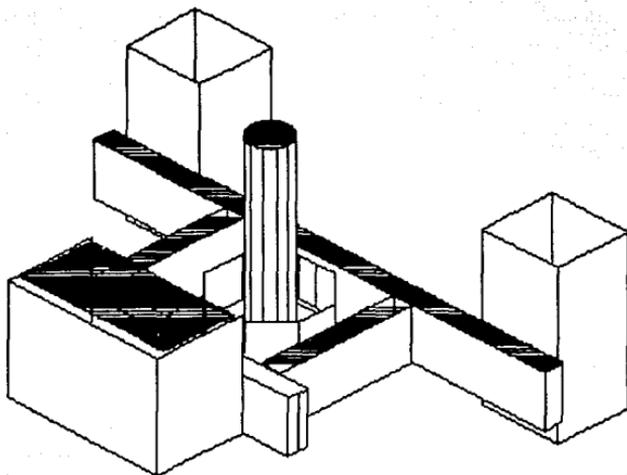


Figura 6.5 Vista lateral del pistón de compresión.

El tener el prototipo mecánico permite utilizar la celda de carga y a su vez observar problemas mecánicos no considerados hasta el momento como son:

- i) Movimiento lineal del pistón
- ii) Reducción de la fricción
- iii) Diseño de un sistema más rápido para probar las tabletas. Esto determina el uso de un motor de dc con un contador de vueltas, el cual detecte automáticamente el diámetro de la tableta con el objeto de tener un avance rápido hasta unos milímetros antes de que se toque la tableta, para posteriormente reducir la velocidad y empezar a aplicar la presión correspondiente.

- iv) Reducción del tamaño para hacer acoplamientos mecánicos con otros dispositivos.
- v) Diseño de una mejor plataforma de apoyo para la celda de carga. Esta plataforma debe proporcionar un sólido montaje que resista las fuerzas de compresión que se aplican a la celda, pero a la vez debe ser fácilmente desmontable para realizar pruebas de calibración.

### **6.3. Bloque analógico**

Este bloque sirve para acondicionar la señal a procesar por el convertidor analógico digital. Los pasos del acondicionamiento son:

- i) Pre-amplificación
- ii) Amplificación
- iii) Filtrado

Todo este procesamiento se realiza con amplificadores operacionales. En caso de requerirse mayor información sobre la selección de los amplificadores usados, favor de referirse al apéndice D.

#### **6.3.1. Etapa de amplificación**

Esta parte del diseño está constituida de tres amplificadores operacionales, arreglados en forma de amplificador de instrumentación con alta impedancia de entrada. Esto obedece a que la señal de la celda de carga es pequeña (orden de milivolts), y además existe una señal de modo común en las salidas del puente, haciéndose indispensable manejar una entrada diferencial.

El diseño usado se adaptó de una recomendación de National Semiconductor Corporation<sup>1</sup> que se muestra en la figura 6.6.

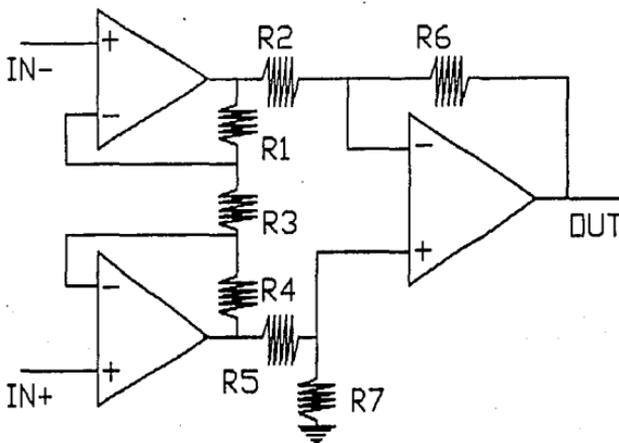


Figura 6.6 Amplificador de instrumentación.

Las ventaja de este arreglo es el de proveer entradas de alta impedancia. La ganancia del preamplificador se modifica con sólo variar la resistencia R3 y la ganancia final se ajusta con las resistencias R6 y R2.

Esta configuración recibe la señal de la celda para amplificarla aproximadamente 300 veces, introduciendo un retraso despreciable. El único problema que surge al tener una alta impedancia y una ganancia muy grande, es la amplificación del ruido de ac, por lo que es necesario introducir un filtro paso bajas en la siguiente etapa.

1) LINEAR APPLICATIONS DATA BOOK. AM-31

Los cuidados de este diseño se relacionan básicamente con los valores de las resistencias, ya que aún con pequeñas diferencias, se introducen offsets que al amplificarse 300 veces saturan al operacional. Esto condujo al empleo de resistencias con tolerancias de  $0.1\%$ <sup>1</sup> y el uso de compensación de offset en uno de los operacionales.

### 6.3.2. Filtro paso bajas

Con el objeto de determinar el orden y frecuencia de corte adecuados, se realizaron varios filtros. El modelo que se propone es el de retroalimentación múltiple cuyo diagrama se muestra en la figura 6.7.

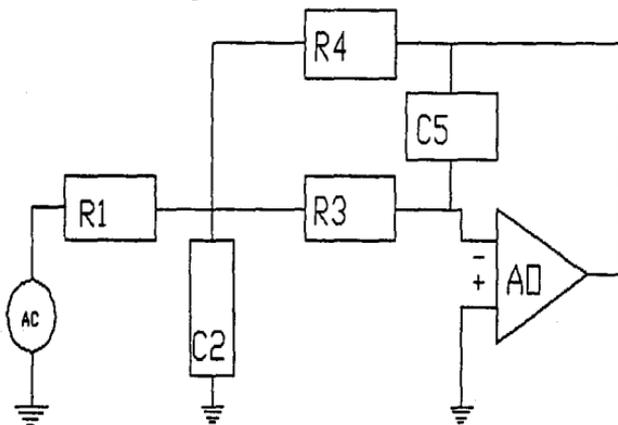


Figura 6.7 Retroalimentación múltiple (filtro paso bajas)

---

1) ES NECESARIO REVISAR VARIAS RESISTENCIAS DE  $1\%$  DE TOLERANCIA Y UTILIZAR LAS MAS SEMEJANTES ENTRE SI

En los siguientes incisos se muestran tres casos de filtros paso bajas, siguiendo el modelo citado.

- a) Frec.= 3 Hz      4to. orden y 52dB de rechazo
- Respuesta muy lenta
  - Ruido ac eliminado completamente.
  - Se presenta una salida subamortiguada
- b) Frec.= 6 Hz      2do. orden y 20 dB de rechazo
- Respuesta lenta
  - Ruido de ac eliminado completamente
  - Se presenta una salida sobreamortiguada
- c) Frec.= 20 Hz      2do. orden y 10 dB de rechazo
- Respuesta razonablemente rápida
  - Si existe ruido de ac menor a 10mV

Usando ese modelo de filtro se observa que para el caso "c", se tienen las condiciones más aceptables, si se considera que el ADC toma muestras cada 100 microsegundos y que además la señal de salida tiene un "span" de 0 a 5 V.

Cabe aclarar que antes de introducir la señal al filtro paso bajas, es necesario colocar un inversor con ganancia unitaria para que se compense la inversión que realiza el filtro.

La señal de salida del filtro paso bajas se conecta a la entrada del convertidor analógico digital (ADC803).

#### 6.4. Bloque de potencia

Esta parte permite controlar los motores de ac con sólo cambiar un nivel TTL. Esta interfaz de potencia se realiza utilizando triacs y optotriacs, estos últimos para desacoplar ópticamente el circuito digital.

Para reducir al mínimo los efectos del ruido en la línea de ac, se calculan y colocan snubbers en cada uno de los triacs y optotriacs. Para el caso de esta tesis se siguieron las recomendaciones que se proponen en el Power Semiconductor Circuits<sup>1</sup> y las recomendaciones de Motorola para optoacopladores<sup>2</sup>.

Para mayor detalle de este circuito referirse al apéndice H, el cual contiene los diagramas de terminales del sistema.

#### 6.5. Bloque digital e interconexión final

El elemento principal de este bloque está ubicado en el microcontrolador 146805 de Motorola. Este microcontrolador es de tipo CMOS. Su construcción es específica para el desarrollo de prototipos, ya que cuando estos están totalmente terminados, normalmente se procede a trasladar el software y hardware a versiones más poderosas y comerciales.

El hardware de este bloque es sumamente sencillo, debido a que gran parte de los elementos utilizados ya se encuentran dentro del microcontrolador (puertos, timer, oscilador, memoria). Sólo es necesario agregar una memoria

- 
- 1) POWER SEMICONDUCTOR CIRCUITS. S.B. DEWAN, A. STRAUGHEN. PAG 131-133
  - 2) RECOMENDACION AN780A. APPLICATIONS OF THE MOC3011 TRIAC DRIVER.  
OPTOELECTRONICS DEVICE DATA

EPROM para el programa, un reloj para el timer, un latch para demultiplexar el bus de datos y direcciones y la lógica de decodificación correspondiente.

Para tener una idea más clara de la forma en que se comunican los distintos bloques de este subsistema, se presenta un diagrama de bloques del durómetro en la figura 6.8.

En este diagrama se observan las líneas que se usan entre cada uno de los módulos y su relación con el microprocesador. También por medio de este diagrama se observa la modularidad con la que se llevo a cabo este diseño.

#### 6.5.1. Configuración del microcontrolador

Los parámetros principales para el desarrollo del programa son los siguientes:

##### a) Modos de trabajo

- Normal
- Calibración

Dentro de estos dos modos, el microprocesador esclavo nunca podrá ser interrumpido por el sistema maestro, cuando alguna de las líneas dato listo o estado estén activas.

La línea normal/calibración proviene del sistema maestro. Sirve para indicar la configuración del sistema en general, una vez realizada esta función, se utiliza para controlar el flujo de datos entre el microprocesador esclavo y el maestro (línea de handshake).

##### b) Configuración del puerto A

Todos los bits de este puerto son de salida



c) Configuración del puerto B

La configuración de este punto se presenta en la tabla 6.3.

Esclavo			Maestro	
D0	OUT	----->	IN	ESTADO
D1	IN	<-----	OUT	NORMAL/CALIBRA
D2	OUT	----->	IN	DATO LISTO
D3	IN	<-----		ATRAS
D4	IN	<-----		ADELANTE
D5	OUT	----->		AVANCE
D6	OUT	----->		RETROCESO
D7	IN	<-----		INT ADC

Tabla 6.3 Configuración del puerto B.

d) Configuración del timer

El reloj del timer se proporciona externamente con una frecuencia de  $305.1757 \text{ Hz} = 5 \text{ MHz}/2^{14}$ .

Los retardos programados son:

- Subrutina de wait

2 segundos.

Tiempo de espera para encender un motor, ya sea hacia atrás o hacia adelante.

- Subrutina de timer

1 minuto 30 segundos.

Tiempo máximo permitido para que el pistón de presión se encuentre en alguno de los extremos del durómetro. De no encontrarse se genera un error fatal en el sistema.

e) Tabla de errores

El sistema maestro detecta la existencia de un problema en el durómetro cuando la línea estado se encuentra activa, por lo que procede a leer el byte de información correspondiente para determinar la gravedad del error y tomar una decisión.

Los errores que genera el durómetro se presentan en la tabla 6.4.

Código	Descripción
00H	NO HAY ERROR
01H	NO EXISTIO TABLETA A QUEBRAR
02H	EL MOTOR DE RETROCESO NO FUNCIONA
04H	EXISTIO SOBREFLUJO EN LA LECTURA
08H	EL MOTOR DE AVANCE NO FUNCIONA
20H	ERROR DE CALIBRACION
40H	PROGRAMA FUERA DE CONTROL ("OUT OF MEMORY")

Tabla 6.4 Errores del durómetro.

### 6.5.2. Diagramas de flujo del programa

A continuación se presentan los diagramas de flujo que explican en forma resumida la secuencia de las tareas que realiza el microcontrolador (figuras 6.9 a 6.12).

# DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL DUROMETRO

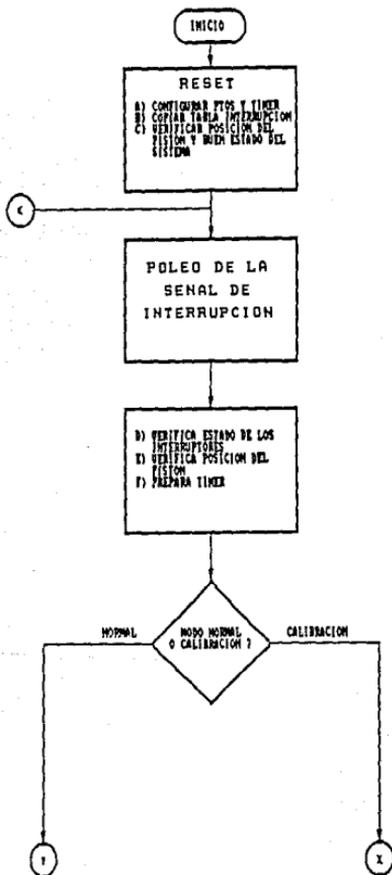


Figura 6.9

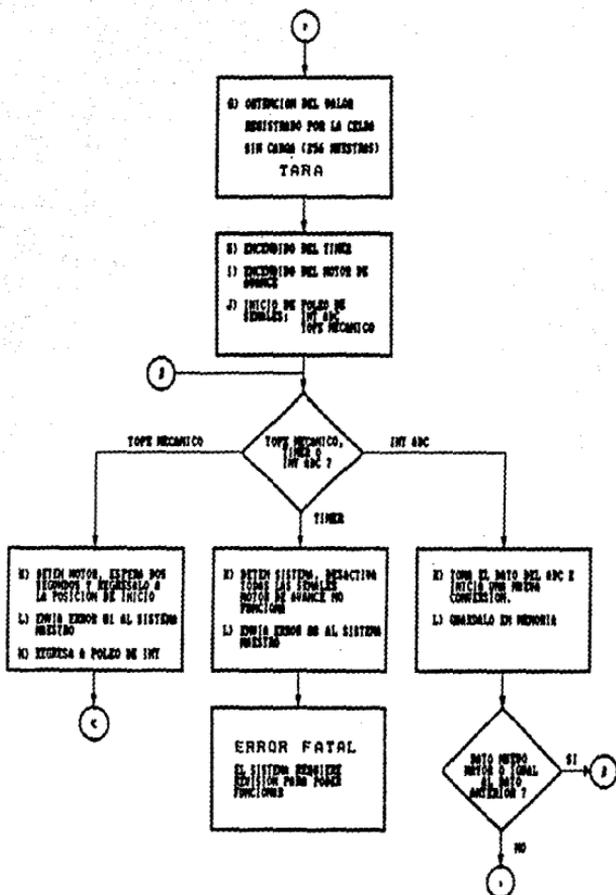


Figura 6.10

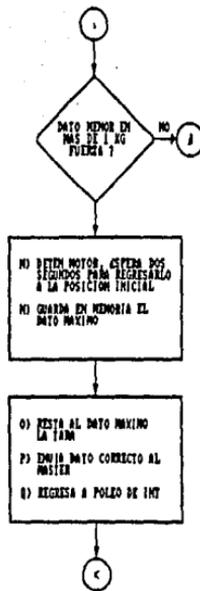


Figura 6.11

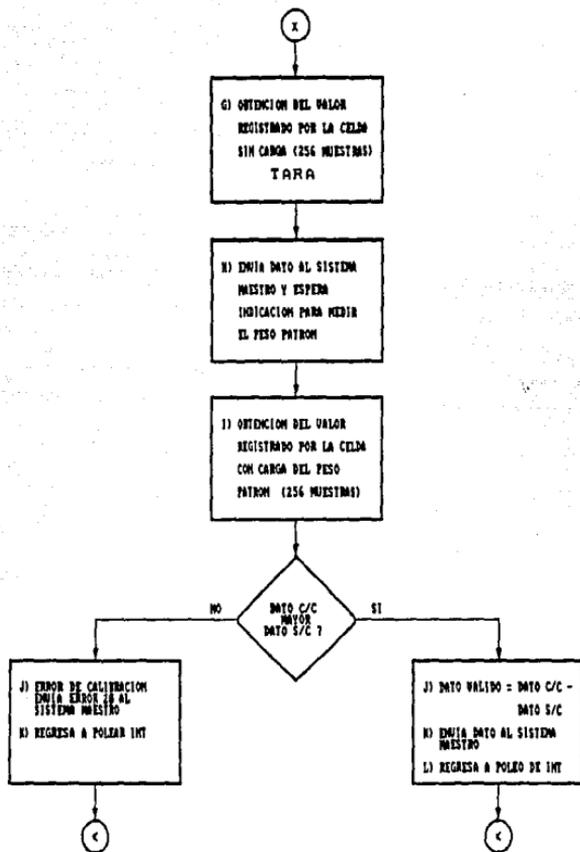


Figura 6.12

## 6.6. Bibliografía

- a) CMOS Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
Second Edition  
1988
- b) TTL Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
1986
- c) Industrial Electronics and Robotics  
Charles A. Schuler, William L. McNamee  
Industrial Electronics Series  
International Edition  
McGraw-Hill Book Company
- d) Noise Reduction Techniques in Electronic  
Systems  
Henry W. Ott  
Wiley Interscience  
2nd. Edition  
1988
- e) M6805 HMOS M146805 CMOS Family  
Microcomputer/Microprocessor User's Manual  
Motorola Inc.  
2nd. Edition  
1983
- f) Especificaciones de EPEL, S. A.  
Celda de carga de 30 kg
- g) Transducers in Mechanical and Electronic Design  
Harry L. Trietley  
Marcel Dekker, Inc.  
1986
- h) Power Semiconductor Circuits  
Dewan, Straughen  
John Wiley & Sons.

- i) Proyecto de Elementos de Máquinas  
M. F. Spotts  
Ed. Reverté, S. A.  
1979
  
- j) Standard Handbook for Mechanical Engineers  
Theodore Basmesteier, Editor  
Seventh Edition  
McGraw-Hill Book Company
  
- k) Manuales de Motorola, Inc.
  - Optoelectronics Device Data 1987
  - Memory Data 1988
  - CMOS Logic Data 1985
  - Linear and Interface Integrated Circuits 1987
  - Single Chip Microcomputer Data 1984
  - High Speed CMOS Logic Data 1986
  
- l) Manuales de National Semiconductor Corporation
  - Linear Applications Databook 1986
  - Linear 1 Databook 1987
  - Linear 2 Databook 1987
  
- m) Manuales de Texas Instruments
  - Standard TTL, Vol. 2. 1985
  - Power Data Book 1987
  - Linear Circuits Databook 1984

# CAPITULO

## 7

---

# MEDIDOR DE ESPESOR

---

Un medidor de espesor (thickness gauger) como su nombre lo indica, es un dispositivo que determina el espesor de los objetos, que para el caso son las tabletas. Las unidades empleadas en la industria farmacéutica para especificar esta variable son los milímetros (mm) en el sistema internacional, y las pulgadas (in) en el sistema inglés.

Dentro del medidor de espesor se encuentran varias partes o bloques que realizan tareas muy específicas, estas partes son las siguientes:

- i) Bloque sensor de posición.
- ii) Bloque mecánico.
- iii) Bloque analógico.
- iv) Bloque de potencia.
- v) Bloque digital.

Cada una de estas partes se diseña, realiza y prueba independientemente del orden presentado, de tal forma, que conforme se avanza en el diseño se van delimitando las características que tendrán los últimos bloques (parte analógica y la parte digital).

### 7.1. Bloque sensor de posición

En el prototipo propuesto, la parte esencial está constituida por el bloque sensor de posición, que corresponde a un arreglo de transductor de efecto Hall con salida lineal y dos imanes permanentes (figura 7.1).

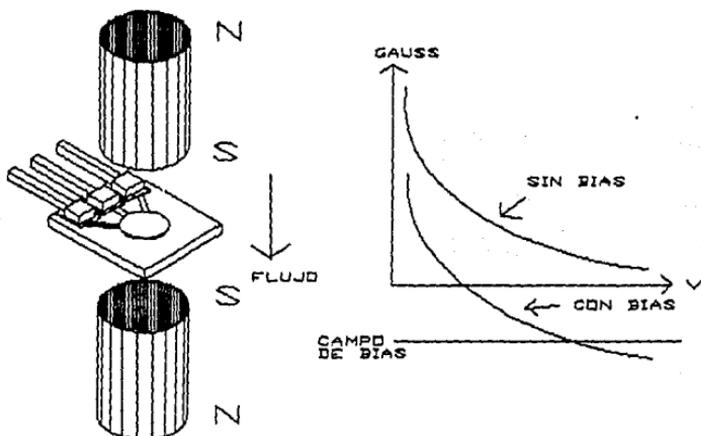


Figura 7.1 Configuración frontal bipolar con referencia

Esta configuración es denominada "frontal bipolar con referencia" (bipolar biased head-on) por MICRO SWITCH, compañía que fabrica el transductor de efecto Hall usado. Para información sobre proveedores referirse al apéndice E.

En la figura 7.1 se observan dos imanes permanentes, el imán superior de la figura se mantiene fijo y da una referencia negativa de densidad de campo magnético. Mientras que el otro imán tiene un movimiento recíprocante, es decir,

se puede mover en ambos sentidos bajo una misma línea de acción. Cabe mencionar que en la figura no aparece la superficie inferior del transductor, la cual recibe el nombre de "frente" o "lado magnético".

Esta aproximación ofrece simplicidad mecánica para el montaje de los magnetos y para la generación del movimiento requerido. Además ofrece la posibilidad de poder usar todo el rango (span) de salida del transductor. La precisión que se obtiene es mediana, aunque llega a ser alta en algunos tramos de la función de transferencia voltaje vs. distancia, la cual se verá en la sección de caracterización del bloque sensor.

Este ensamble impide obtener una relación lineal de distancia a voltaje, sin embargo, se puede compensar utilizando tablas de referencia (look-up table) o cálculo de función de transferencia con un microprocesador, o bien, utilizando un circuito analógico que compense la función de transferencia de salida del transductor.

#### **7.1.1. Características del transductor de efecto Hall**

El transductor de efecto Hall seleccionado para el sistema PS I es el 91SS12-2 que pertenece a la familia 9SS de sensores analógicos de posición, fabricado por Honeywell, división MICRO SWITCH.

El diagrama de bloques de este dispositivo se muestra en la figura 7.2.

---

1) SPECIFIER'S GUIDE FOR SOLID STATE SENSORS: POSITION SENSORS, CURRENT SENSORS, TEMPERATURE SENSORS MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

El empaque es de cerámica delgada y tiene resistencias de película delgada, ajustadas con laser (laser trimmed thick film) para minimizar variaciones de sensibilidad y para compensar variaciones de temperatura.

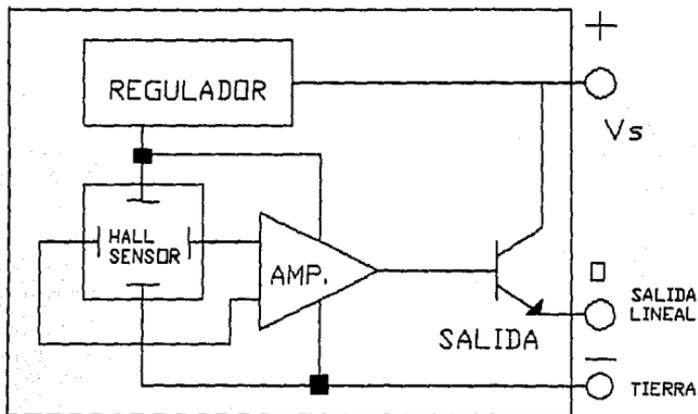


Figura 7.2 Diagrama de bloques del 91SS12-2.

Presenta tres terminales que se mencionan a continuación:

- + ----->  $V_S$ , alimentación positiva.
- -----> Tierra.
- o ----->  $V_{OUT}$ , salida.

Un polo magnético sur de frente a la superficie magnética (frente) del transductor proporcionan Gauss positivos, mientras que para el polo magnético norte se proporcionan Gauss negativos.

Cuenta además con un "concentrador de flujo", que corresponde a un material ferroso que concentra el flujo magnético en el área de sensado. Este concentrador se observa en la figura 7.1 como la porción saliente cilíndrica del transductor.

Las especificaciones de máximos absolutos se muestran en la tabla 7.1.

Voltaje de alimentación ( $V_S$ )	-0.5 a 18 VDC
Corriente de salida	10 mA
Temperatura de operación	-40°C a 150°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a 150°C
Densidad de flujo magnético	No tiene límite

Tabla 7.1 Máximos absolutos del 91SS12-2.

Nota 1: El circuito no puede ser dañado por sobreflujo magnético.

Las características eléctricas y magnéticas se presentan en las tablas 7.2 y 7.3, respectivamente.

Voltaje de alimentación (VDC)	8 a 16 VDC
Corriente de alimentación	15 mA máx.
Tipo de salida	Suministra corriente (source). Ratiometric
Tiempo de respuesta	3 $\mu$ s máx.

Tabla 7.2 Características eléctricas del 91SS12-2.

"Span" (-400 a 400 Gauss)	50% de $V_S$
Nulo (salida @ 0 Gauss)	50% de $V_S$
Sensibilidad (mV/Gauss)	7.5 @ $V_S=12VDC$
Linearidad (% span)	$\pm 1.5$
Rango (Gauss)	400

Tabla 7.3 Características magnéticas del 91SS12-2.

Nota 2: "Span" representa el intervalo de voltaje de salida del transductor.

Nota 3: El mejor desempeño del transductor según indica el fabricante se presenta con  $V_S = 12$  Vdc.

La función de transferencia del transductor con  $V_S = 12$  VDC se observa en la figura 7.3.

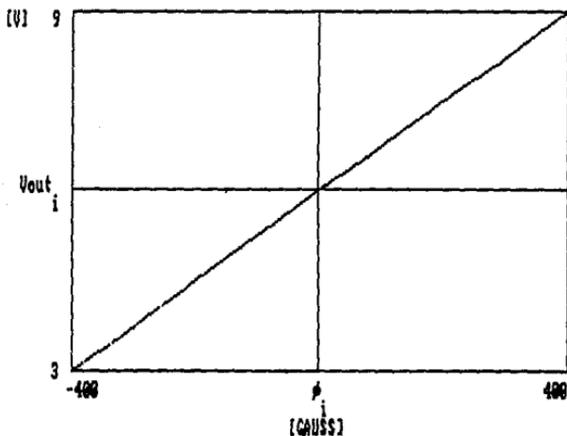


Figura 7.3 Función de transferencia del transductor.

Se recomienda que los límites máximos no sean excedidos y no polarizar en forma inversa el transductor.

Es importante considerar el efecto de la carga, que debe de cumplir con las siguientes características<sup>1</sup>:

- i) Debe de proveer una trayectoria a tierra para la corriente.
- ii) Debe de limitar la corriente a través del transistor de salida, a la especificada para todas las condiciones de operación.

Debido a que el transistor de salida queda en configuración de emisor abierto, se recomienda colocar una resistencia (R) a tierra, "pull-down", para limitar la corriente de salida en el transistor. Esta resistencia R comúnmente queda en paralelo a la resistencia de carga ( $R_L$ ), esta combinación se recomienda que tenga como equivalente mínimo 2200 ohms.

Cuando se acopla la salida del transductor a un comparador o amplificador operacional, puede no requerirse la resistencia de "pull-down" mencionada anteriormente, esto se maneja según las características del comparador o circuito operacional y el ruido eléctrico.

### **7.1.2. Características de los imanes permanentes**

Los dos imanes permanentes usados en este proyecto presentan las mismas características; para seleccionarlos fue necesario tomar en cuenta varios aspectos como son: nivel de Gauss, tiempo de desmagnetización, dureza, tamaño, forma. De los

---

1) HALL EFFECT TRANSDUCERS, HOW TO APPLY THEM AS SENSORS  
MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

imanes fabricados por MICRO SWITCH el más apegado a estas necesidades es el 102MG15; sus características<sup>1</sup> se presentan en la tabla 7.4.

Material y proceso	Alnico VIII Aglomerado (sintered)
Resistencia física	Buena
Rango de temperatura	-40 a 250°C
Resistencia magnética al golpeo	Buena
Resistencia a desmagnetización	Excelente
"Gap distance" y nivel de Gauss @ 25°C:	
0.25 mm = 0.010 in	1050
0.76 mm = 0.030 in	900
1.27 mm = 0.050 in	755
2.54 mm = 0.100 in	470
3.81 mm = 0.150 in	295
5.08 mm = 0.200 in	195

Tabla 7.4. Características del imán.

Nota 1: El magneto no será dañado dentro del rango de temperatura especificado.

Nota 2: Por "Gap distance" se entiende la distancia entre el transductor de efecto Hall y la superficie del polo más cercano al transductor.

---

1) SPECIFIER'S GUIDE FOR SOLID STATE SENSORS: POSITION  
SENSORS, CURRENT SENSORS, TEMPERATURE SENSORS  
MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

La curva de distancia vs. densidad de campo magnético es de forma similar a la que se verá en el punto correspondiente a caracterización del bloque sensor de posición (curva distancia vs. voltaje de salida del transductor de efecto Hall).

a) Características<sup>1</sup> del material de los imanes permanentes

El alnico aglomerado se ajusta bien para aplicaciones de producción en masa de magnetos con formas complicadas. En especial el alnico VIII aglomerado se ajusta bien para aplicaciones de tamaño pequeño (miniaturizado) que requieren de una gran fuerza coercitiva; que es el caso de la configuración utilizada, ya que se utilizan magnetos con polos iguales encontrados y puede existir desmagnetización significativa si no se cuenta con esta característica.

Otra de las características importantes del Alnico VIII es su tiempo de vida, ya que la desmagnetización esperada es de 2.4% (aprox.) en 11.4 años.

Los magnetos empleados ofrecen un armazón con rosca para facilitar su instalación mecánica.

b) Precauciones de manejo

- Para prevenir el desplazamiento del polo magnético y la desmagnetización progresiva, se debe evitar (en lo posible) el contacto o cercana proximidad entre magnetos u otros objetos ferromagnéticos.
- No forzar polos iguales a juntarse, un contacto en una posición de repulsión podría parcialmente desmagnetizarlos.

---

1) HALL EFFECT TRANSDUCERS, HOW TO APPLY THEM AS SENSORS  
MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

- Nunca separar mediante deslizamiento en la dirección de magnetización dos magnetos con sus polos opuestos en contacto, ya que esto causa una fuerte reducción en su magnetización. Separarlos con un jalón directo.

### 7.1.3. Caracterización del bloque sensor de posición

Para conocer el transductor de efecto Hall es necesario construir una fuente regulada de 10 V ( $V_S = 10$  V, estándar recomendado para los transductores de medición) y utilizar un voltmetro con una impedancia de entrada de 10 Mohms, con objeto de no cargar la salida del transductor.

Cabe aclarar que existe una discrepancia entre los voltajes de alimentación usados por los estándares ( $V_S = 10$  V) y el recomendado por el fabricante ( $V_S = 12$  V). Es por esto que se realizaron las pruebas correspondientes para ver las diferencias, de las pruebas se observa que prácticamente no existió deterioro en el desempeño del transductor al hacer mediciones con  $V_S = 10$  V, ya que corresponden a las mismas mediciones con  $V_S = 12$  V pero afectadas por un factor, esto se debe a que la salida del transductor es del tipo "ratiometric".

Las características teóricas esperadas para el transductor de efecto Hall @  $V_S = 10$  V, se presentan en la tabla 7.5.

"Span" (-400 a 400 Gauss) = 5 V.
Voltaje de salida @ 0 Gauss = 5 V.
Sensitividad = 6.25 mV/Gauss.

Tabla 7.5 Características teóricas del transductor.

De las pruebas se obtienen los siguientes resultados (tabla 7.6), midiendo directamente a la salida del transductor.

Voltaje de salida ( $V_{OUT}$ ) @ 0 Gauss = 5.18 V.
$V_{OUT}$ @ (imán móvil a aprox. 1 mm) = 6.92 V.
$V_{OUT}$ @ (imán móvil a aprox. 20 mm) = 2.01 V.
$V_{OUT}$ @ (imán móvil ---> infinito) = 1.98 V.

Tabla 7.6 Características experimentales del transductor.

Para que el ADC utilice la salida del transductor es necesario acondicionar la señal al rango de voltaje de 0 a 5 V, para lo cual se usa un circuito analógico.

El patrón tomado como referencia es un Vernier con salida digital y resolución de 1/100 mm.

Con el Vernier digital y bloques de papel de espesores clasificados por el mismo, se realizan conjuntos de lecturas en un rango de 0 a aprox. 46 mm y con el promedio se obtiene la curva distancia vs. voltaje de salida acondicionada (rango 0 a 5 V). Dicha curva se muestra en la figura 7.4.

Debe aclararse que las mediciones se realizan en el mismo bloque sensor de posición, ya que se observó que las hojas de papel no afectan, para términos prácticos, las lecturas obtenidas.

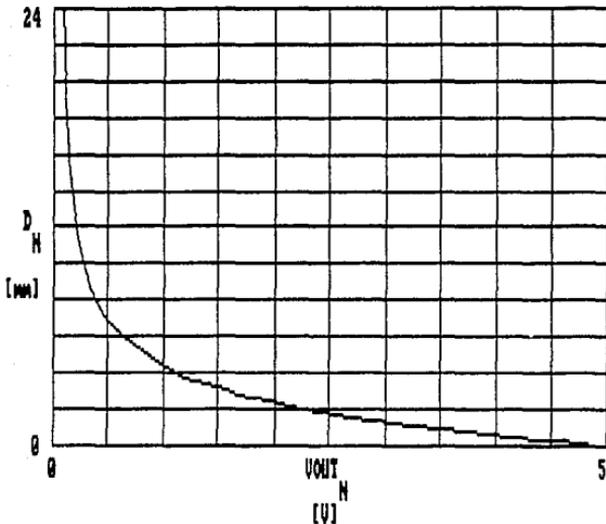


Figura 7.4 Curva distancia vs. voltaje de salida acondicionado (entrada no inversora del ADC).

Para obtener la curva se hacen gran número mediciones en el rango de 0 a 6 mm, con incrementos de 0.01 mm (aproximadamente). Después de 6 mm se manejan incrementos de 1 y 2 mm de distancia.

Analizando la curva se observa que el rango de 0 a 4 mm presenta una pendiente pronunciada, permitiendo diferenciar con facilidad los incrementos en centésimas de mm.

Sin embargo, para distancias superiores a 8 mm, la pendiente es poco pronunciada, esto significa que la variación del voltaje de salida para incrementos de distancias muy pequeños es

casi nula. Esta es una de las principales causas que conducen a utilizar un ADC de 12 bits.

Una vez convertido el voltaje de salida a su valor digital, es necesario elaborar tablas de referencia para linealizar el voltaje obtenido a una distancia (espesor) proporcional.

Teniendo las tablas de linealización en memoria, la linealización se realiza con un microcontrolador en base a la lectura proporcionada por el ADC.

## **7.2. Bloque mecánico**

El diseño mecánico se elaboró para cumplir con las funciones mínimas necesarias, para poder trabajar con el transductor de efecto Hall.

Las partes que lo integran son las siguientes:

### **a) Motor de avance y retroceso**

- Motor de dc de 12 V.
- Tiene acoplado un reductor de velocidad.
- Movimientos hacia arriba y hacia abajo.

### **b) Bloque sensor de posición**

- Encargado de traducir posición a voltaje.

### **c) Bloque sensor de tableta**

- Contiene elementos para detección de tableta y tope de movimiento hacia arriba.

### **d) Mecanismo para movimiento de los bloques sensores**

En la figura 7.5 se muestra un esquema de la estructura que presenta el prototipo mecánico del medidor de espesor, sin incluir la base de pruebas.

La información relacionada con el mecanismo macrométrico y proveedores se presenta en el apéndice F.

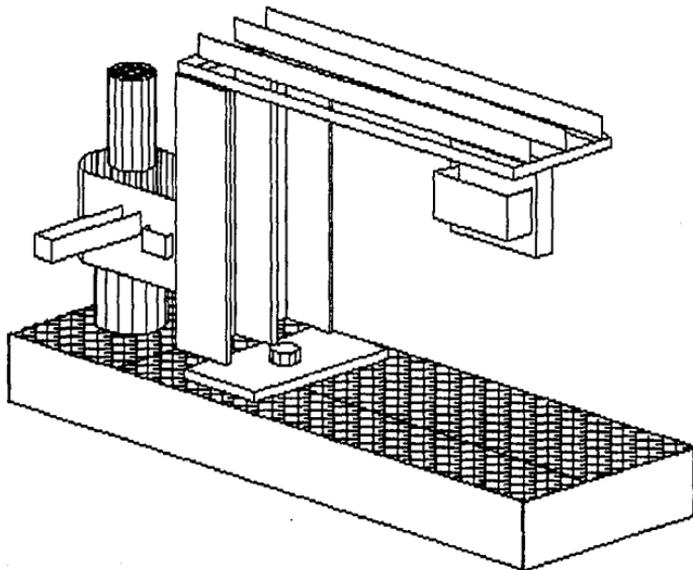


Figura 7.5 Estructura mecánica del medidor de espesor.

En ella se observan las siguientes partes:

- i) Base del prototipo.
- ii) Mecanismo macrométrico.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- iii) Interruptor para indicar el tope superior.
- iv) La parte fija del arreglo sensor de posición. Se encuentra en la base del prototipo en la trayectoria del movimiento de la barra vertical. En la figura se observa sólo el imán permanente fijo.
- v) Interruptor detector de tableta.

Cabe hacer notar que deben utilizarse piezas de aluminio con objeto de no afectar la densidad de campo magnético producida por los imanes permanentes del bloque sensor de posición.

#### 7.2.1. Características del interruptor de estado sólido operado mecánicamente<sup>1</sup>

Para esta tesis se usa el 37XL31-01 que es un interruptor de estado sólido elaborado por Honeywell, división MICRO SWITCH.

Las especificaciones eléctricas se muestran en la tabla 7.7.

Voltaje de alimentación (VDC)	4.5 a 5.5
Corriente de alimentación (mA máx.)	4.0
Tipo de salida	Sink (requiere corriente)
Corriente de salida (mA)	8.0

Tabla 7.7 Especificaciones eléctricas.

1) SPECIFIER'S GUIDE FOR SOLID STATE SENSORS: POSITION SENSORS, CURRENT SENSORS, TEMPERATURE SENSORS  
MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

Las especificaciones mecánicas se presentan en la tabla 7.8.

Fuerza de operación	0.35 ± 0.15 oz 0.10 ± 0.04 N
"Pretravel" (máx.)	1.52 mm = 0.060 in
Punto de operación	14.48 ± 0.25 mm 0.570 ± 0.10 in
"Overtravel" (mín.)	0.86 mm = 0.034 in
"Differential travel" (máx)	0.018 mm = 0.007 in

Tabla 7.8 Especificaciones mecánicas.

Comentarios a los términos<sup>1</sup> manejados en la tabla 7.8:

"Pretravel": corresponde a la distancia que el émbolo del interruptor debe moverse de su posición libre al punto de operación.

Punto de operación: la posición del émbolo, relativa a un punto fijo del interruptor, donde el transductor cambia de estado.

"Overtravel": distancia que el émbolo puede sobrepasar del punto de operación.

"Differential travel": distancia entre el punto de operación y el punto de liberación (release).

---

1) HALL EFFECT TRANSDUCERS, HOW TO APPLY THEM AS SENSORS  
MICRO SWITCH A HONEYWELL DIVISION

Fuerza de operación: fuerza mecánica necesaria para presionar el émbolo.

### **7.3. Bloque analógico**

Este bloque sirve para acondicionar la señal a procesar por el convertidor analógico digital. Los pasos del acondicionamiento son:

- i) Etapa inversora de señal, restando voltaje de referencia a la señal de entrada.
- ii) Filtrado con salida inversora.

Todo este procesamiento se hizo con amplificadores operacionales.

Para mayor información acerca de la selección de los amplificadores usados favor de referirse al apéndice D.

Debe de aclararse que no se usan las terminales de compensación de "offset" del TL071, ya que no introduce un error significativo en la medición del ADC y el posible error se corrige mediante la consideración de una tara en las mediciones.

#### **7.3.1. Etapa inversora de señal**

La salida del transductor de efecto Hall se alimenta a la entrada inversora del amplificador operacional, mientras que la entrada no inversora se alimenta con un voltaje de referencia. De esta forma el voltaje de referencia se resta a la señal de salida del transductor, logrando tener un voltaje entre -5 y 0 volts (la configuración utilizada es inversora).

El voltaje de referencia empleado es de 1.875 volts. Con el fin de contemplar posibles cambios en el transductor se coloca un potenciómetro para variar el voltaje de referencia.

En la figura 7.6 se muestra un diagrama de la configuración.

La salida del amplificador operacional se conecta a la entrada de un filtro paso bajas.

### 7.3.2. Filtro paso bajas

Debido a que la resolución del ADC1205 es de 1.22 mV por nivel, se hace indispensable reducir el ruido a un nivel que afecte al mínimo la conversión de la señal, razón por la cual se usa el filtro paso bajas.

Para determinar el orden y frecuencia de corte adecuados es necesario realizar varios filtros. El modelo aprovechado en este proyecto es el de retroalimentación múltiple que tiene salida inversora y cuyo diagrama se muestra en la figura 7.7.

Las pruebas realizadas son semejantes a las del durómetro, razón por la cual no se describen en este inciso.

Se emplea el filtro de 20 Hz, por mostrar una respuesta rápida e interferencia nula con la toma de lecturas que realiza el ADC (1 cada 100 useg).

La señal de salida del filtro paso bajas se conecta a la entrada del convertidor analógico digital (ADC1205).

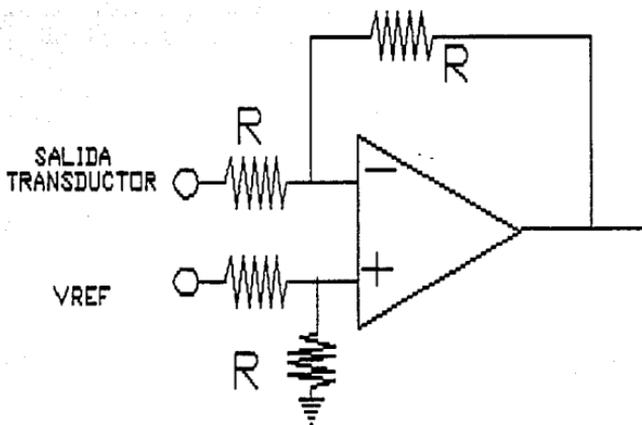


Figura 7.6 Amplificador operacional con referencia.

#### 7.4. Bloque de potencia

Este bloque permite controlar el motor de dc con sólo cambiar un nivel TTL. La interfaz de potencia se realiza empleando transistores y optotransistores, estos últimos para desacoplar ópticamente el circuito digital.

La configuración diseñada se denomina "puente H" <sup>1</sup> y se usa cuando se requiere manejar un motor de dc en operación de avance o retroceso. La configuración del puente H se muestra en la figura 7.8.

---

1) LINEAR & INTERFACE CIRCUITS APPLICATIONS  
 TEXAS INSTRUMENTS ENGINEERING STAFF  
 TEXAS INSTRUMENTS ELECTRONICS SERIES

En el caso del proyecto elaborado, los interruptores representados en la figura 7.8 se sustituyeron por transistores.

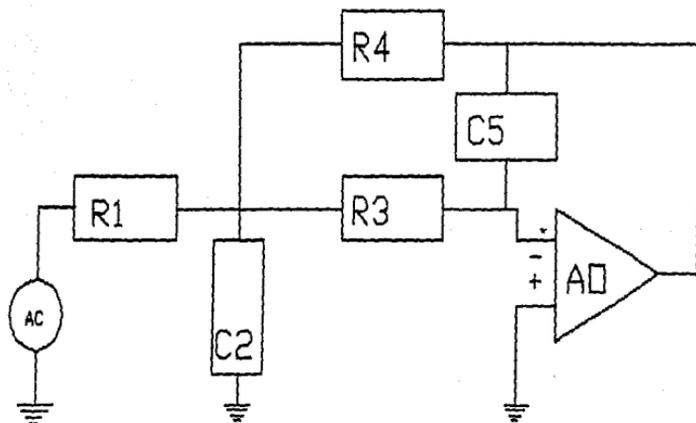


Figura 7.7 Retroalimentación múltiple (filtro paso bajas).

Para mayor detalle sobre este circuito referirse al apéndice H de diagramas de terminales.

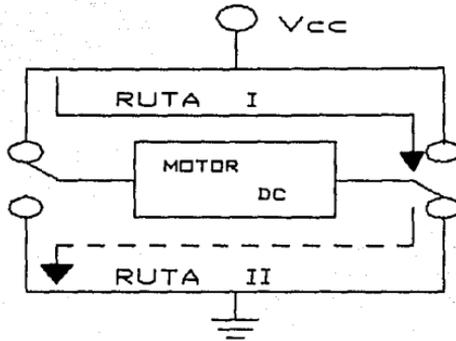


Figura 7.8 Puente "H".

### 7.5. Bloque digital e interconexión final

El elemento principal de este bloque está ubicado en el microcontrolador 146805 de Motorola. Este microcontrolador es de tipo CMOS. Su construcción es específica para el desarrollo de prototipos, ya que cuando estos están totalmente terminados, normalmente se procede a trasladar el software y hardware a versiones más poderosas y comerciales.

El hardware de este bloque es sumamente sencillo, debido a que gran parte de los elementos utilizados ya se encuentran dentro del microcontrolador (puertos, timer, oscilador, memoria), sólo es necesario agregar una memoria EPROM para el programa, un reloj para el timer, un latch para demultiplexar el bus de datos y direcciones y la lógica de decodificación correspondiente.

El ADC1205<sup>1</sup> es un convertidor de 12 bits. Tiene la peculiaridad de que su canal de datos es de 8 bits y el dato de la conversión se obtiene en dos ciclos de lectura.

Para tener una idea más clara de la forma en que se comunican los distintos bloques del subsistema se presenta en la figura 7.9 un diagrama de bloques del medidor de espesor.

En este diagrama se observan las líneas de control y comunicación entre cada uno de los módulos y su relación con el microprocesador.

#### **7.5.1. Configuración del microcontrolador**

Los parámetros principales para el desarrollo del programa son los siguientes:

##### **a) Modos de trabajo**

El sistema del medidor de espesor sólo cuenta con el modo normal de operación. El proceso de calibración del medidor de espesor es controlado por el microprocesador maestro, razón por la cual no es necesaria la elaboración de una rutina de calibración, como en el caso del durómetro.

##### **b) Configuración del puerto A**

Todos los bits de este puerto son de salida

##### **c) Configuración del puerto B**

La configuración de este puerto se presenta en la tabla 7.9.

---

1) PARA MAYOR INFORMACION SOBRE LAS CARACTERISTICAS DEL  
ADC1205 REFERIRSE AL MANUAL: LINEAR 2 DATABOOK,  
NATIONAL SEMICONDUCTORS

## DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MEDIDOR DE ESPESOR

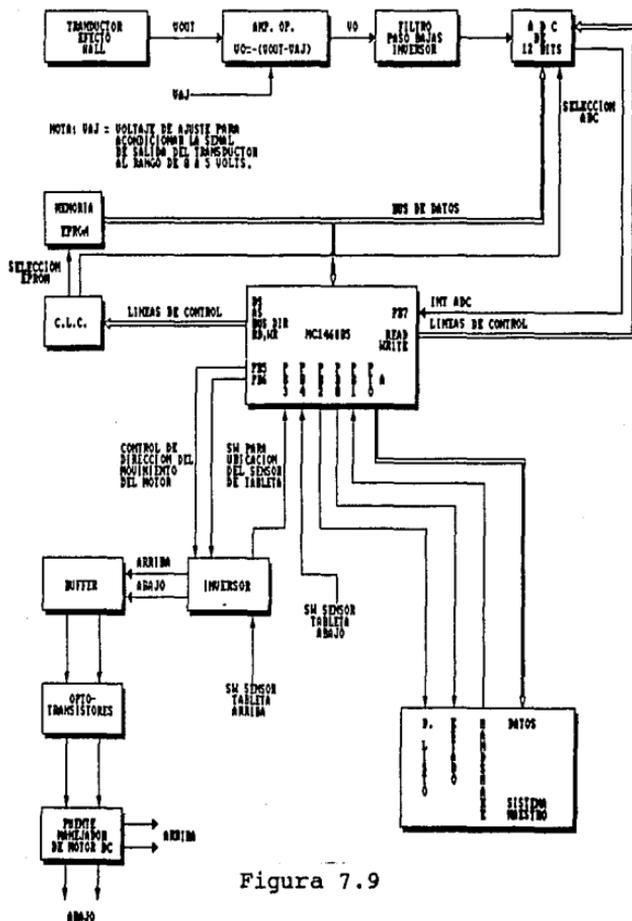


Figura 7.9

Esclavo		Maestro		
<b>D0</b>	OUT	----->	IN	ESTADO
<b>D1</b>	IN	<-----	OUT	RECONOCIMIENTO
<b>D2</b>	OUT	----->	IN	DATO LISTO
<b>D3</b>	IN	<-----		INTERRUPTOR ARRIBA
<b>D4</b>	IN	<-----		INTERRUPTOR ABAJO
<b>D5</b>	OUT	----->		ARRIBA
<b>D6</b>	OUT	----->		ABAJO
<b>D7</b>	IN	<-----		INT ADC

Tabla 7.9 Configuración del puerto B.

d) Configuración del timer

El reloj del timer es proporcionado externamente con una frecuencia de  $976.56 \text{ Hz} = 16 \text{ MHz}/2^{14}$ .

Los retardos programados son:

- Subrutina de swait2

2 segundos.

Tiempo de espera para encender el motor, ya sea hacia arriba o hacia abajo.

- Subrutina de tiempo máx.

5 segundos.

Tiempo máximo permitido para que el bloque sensor de tableta se encuentre en alguno de los extremos del medidor de espesor. De no

encontrarse se genera un error fatal en el sistema.

e) Lógica de las señales estado y dato listo

La tabla 7.10 muestra la lógica que el microprocesador maestro debe reconocer respecto a las señales estado y dato listo.

Estado	Dato listo	Descripción
0	0	Manda byte más significativo del dato obtenido
1	0	Manda byte menos significativo del dato obtenido
0	1	Estado de error
1	1	No hay datos o puede esperar interrupción por el microprocesador maestro

Tabla 7.10 Lógica de las señales estado y dato listo.

f) Tabla de errores

El sistema maestro detecta los problemas del medidor de espesor cuando la línea estado se encuentra en bajo y la línea dato listo se encuentra en alto, para esto sólo requiere leer el byte de información correspondiente para determinar la gravedad del error y tomar una decisión.

Los errores que genera el medidor de espesor se presentan en la tabla 7.11.

Código	Descripción
80H	SE ALCANZO EL FINAL DE LA RUTINA DE RESET.
81H	NO HUBO TABLETA A PROBAR.
82H	PROBLEMAS EN LA PARTE MECANICA DE RETROCESO.
83H	INCONGRUENCIA DE LECTURA EN EL ADC Y/O PROBLEMA CON EL TRANSDUCTOR DE EFECTO HALL.
84H	SOBREFLUJO EN LA LECTURA. SE HA CAMBIADO EL TRANSDUCTOR Y/O SE NECESITA AJUSTE EN LA DISTANCIA MINIMA DEL IMAN PERMANENTE MOVIL.
86H	ESPESOR FUERA DE RANGO DE OPERACION.
87H	PROBLEMA CON LA TARA DE TRABAJO.
88H	PROBLEMAS EN LA PARTE MECANICA DE AVANCE.
89H	PROGRAMA FUERA DE CONTROL.

Tabla 7.11 Errores del medidor de espesor.

### 7.5.2. Diagramas de flujo del programa

A continuación se muestran los diagramas de flujo que explican en forma resumida las tareas que debe realizar el microcontrolador (figuras 7.10 a 7.15).

# DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR DE ESPESOR

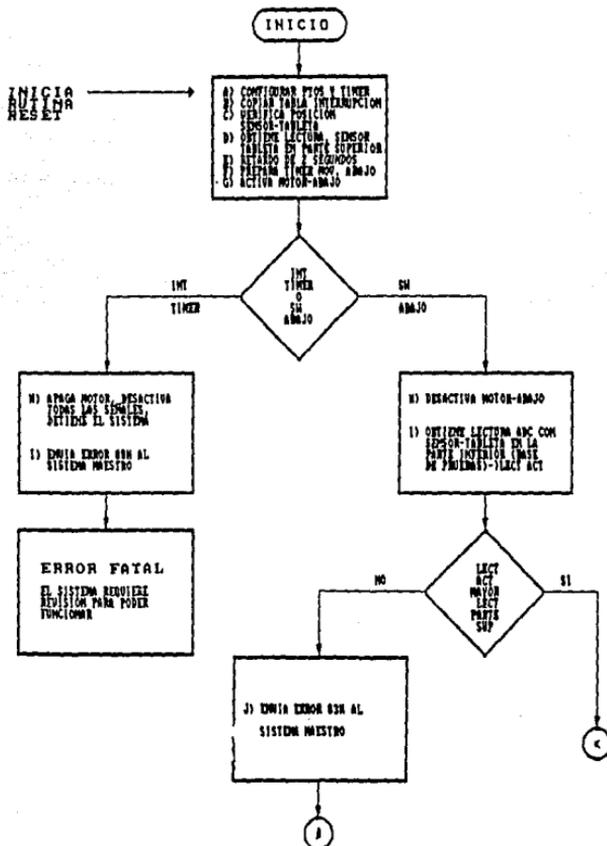


Figura 7.10

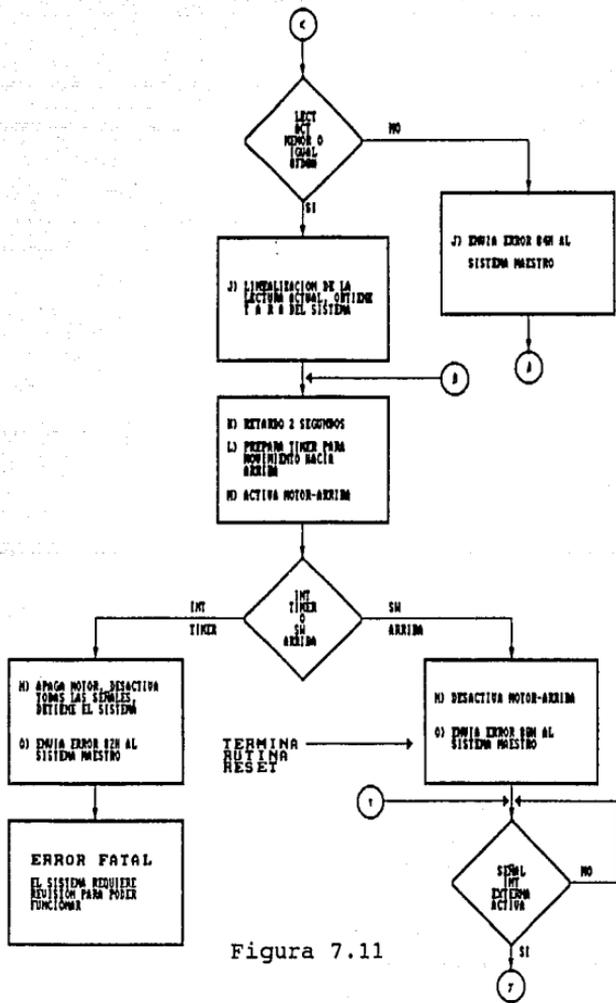


Figura 7.11

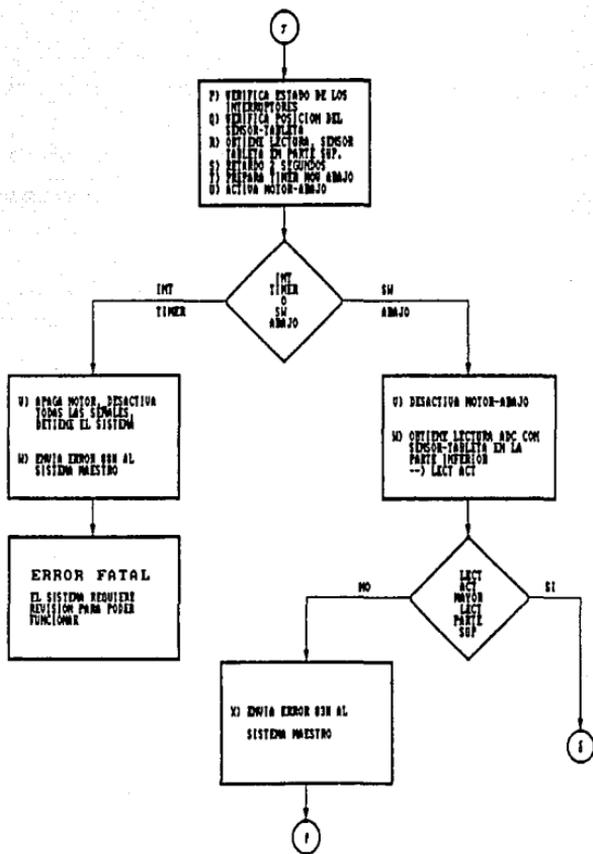


Figura 7.12

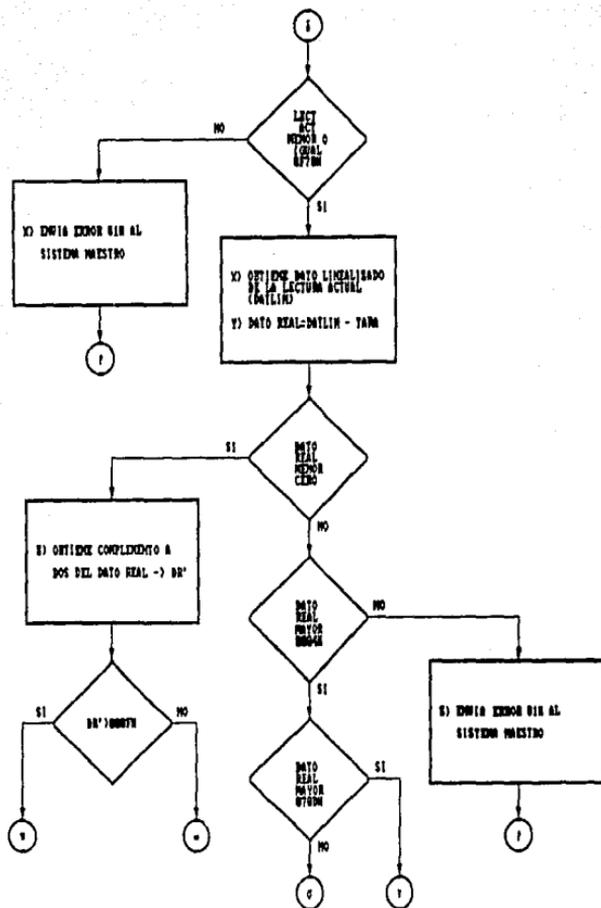


Figura 7.13

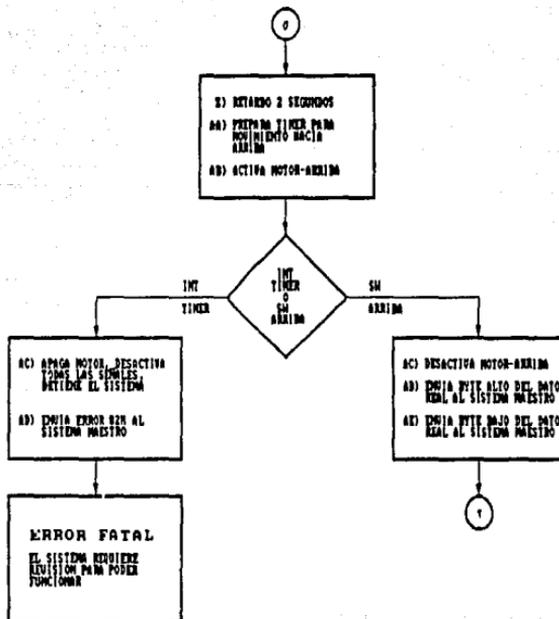


Figura 7.14

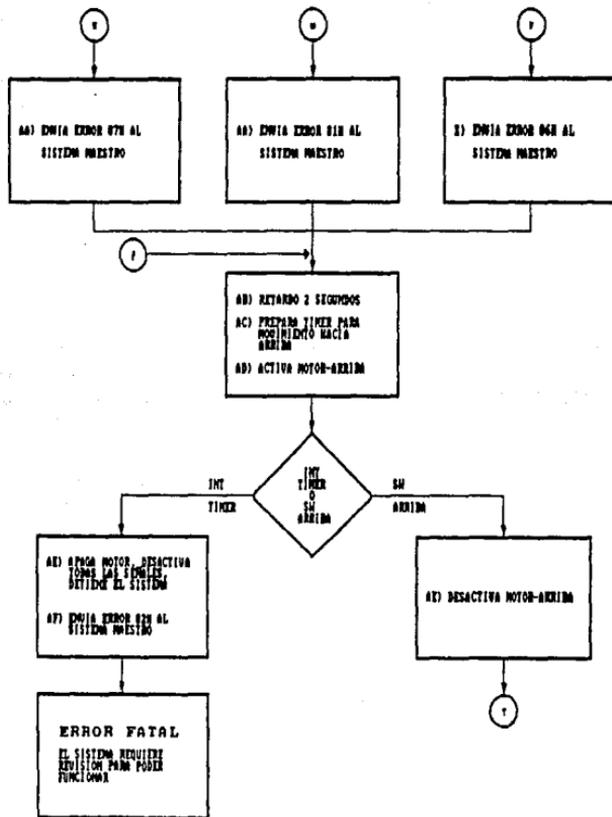


Figura 7.15

## **7.6. Bibliografía**

- a) Hall Effect Transducers  
How to apply them as sensors  
MICRO SWITCH a Honeywell Division  
1982
- b) Linear and Inetrface Circuits Applications  
Texas Instruments Engineering Staff  
Texas Instruments  
McGraw-Hill Book Company  
2nd. Edition  
1988
- c) Electrónica Teoría de Circuitos  
Boylestad Nashelsky  
Prentice Hall Hispanoamericana  
1982
- d) CMOS Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
Second Edition  
1988
- e) TTL Cookbook  
Don Lancaster  
Howard W. Sams and Company  
1986
- f) Noise Reduction Techniques in Electronic  
Systems  
Henry W. Ott  
Wiley Interscience  
2nd. Edition  
1988
- g) M6805 HMOS M146805 CMOS Family  
Microcomputer/Microprocessor User's Manual  
Motorola Inc.  
2nd. Edition  
1983

- h) Transducers in Mechanical and Electronic Design  
Harry L. Trietley  
Marcel Dekker, Inc.  
1986
- i) Proyecto de Elementos de Máquinas  
M. F. Spotts  
Ed. Reverté, S. A.  
1979
- j) Standard Handbook for Mechanical Engineers  
Theodore Basmeister, Editor  
Seventh Edition  
McGraw-Hill Book Company
- k) Specifier's Guide for Solid State Sensors  
Position Sensors, Current Sensors, Temperature  
Sensors  
Catalog 20  
Issue 9  
MICRO SWITCH a Honeywell Division
- l) Manuales de Motorola, Inc.
  - Optoelectronics Device Data 1987
  - Memory Data 1988
  - CMOS Logic Data 1985
  - Linear and Interface Integrated Circuits 1987
  - Single Chip Microcomputer Data 1984
  - High Speed CMOS Logic Data 1986
- m) Manuales de National Semiconductor Corporation
  - Linear Applications Databook 1986
  - Linear 1 Databook 1987
  - Linear 2 Databook 1987
- n) Manuales de Texas Instruments
  - Standard TTL, Vol. 2. 1985
  - Power Data Book 1987
  - Linear Circuits Databook 1984

## CONCLUSIONES

---

---

De esta tesis se obtuvieron un conjunto de experiencias y conocimientos, tanto técnicos como formativos, de los cuales se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Se comprobó que la celda de carga usada está dentro de los rangos internacionales de control de calidad, por lo que es ampliamente recomendada para la realización de proyectos.
- Para mejorar el prototipo mecánico del durómetro, es indispensable explorar en forma física el uso de la cremallera y piñón, con objeto de observar claramente su desempeño, así como sus ventajas y desventajas. Otra opción que también queda abierta para futura investigación, se refiere al uso de pistones neumáticos e hidráulicos, ya que estos elementos permiten la posibilidad de medir directamente la fuerza aplicada a través de la presión del pistón.
- Una opción a probar en el medidor de espesor se refiere al uso del LDVT, ya que presenta mucha simplicidad para su acoplamiento y montaje, además de ofrecer una función de transferencia lineal de voltaje contra distancia. La diferencia principal estriba en que tiene un precio significativamente mayor al transductor de efecto Hall, ya que según investigaciones los LDVT comerciales tienen un precio aproximado de 500 dólares americanos contra solamente 10 dólares americanos del transductor de efecto Hall. Otra posibilidad de experimentación es el de contemplar el diseño de un sistema mecánico de medición, que permita simplificar y utilizar lo mejor de ambas tecnologías.

- Los motores y reductores de velocidad requieren de un diseño especial que contemple los esfuerzos, dimensiones y movilidad requeridos por el prototipo.
- Un aspecto importante se refiere a la utilización de técnicas de reducción de ruido en sistemas electrónicos.

El contemplar el factor ruido desde las etapas iniciales del diseño electrónico permitió ahorrar gran cantidad de tiempo. Aunque pequeños descuidos provocaron problemas cuya solución fue simple, pero no evidente.

- El prototipo presentado, aunque no totalmente depurado, muestra que es posible crear tecnología útil y propia que compita con los estándares internacionales.

Este prototipo requiere de mejoras, sobre todo de tipo mecánico, para elaborar un diseño comercial que cumpla y exceda los requerimientos industriales. Estas mejoras ya fueron identificadas y no son infranqueables, sólo es necesario dedicar tiempo y recursos económicos para su depuración.

En general, se puede decir que las mejores herramientas que posee un diseñador o investigador para desarrollar su labor creativa, son su paciencia y su trabajo tenaz y constante, además del financiamiento adecuado, ya que lo difícil no es contruir el diseño, sino resolver esos pequeños detalles que siempre suelen acompañarlos.

## APENDICES

---

---

## **Apéndice A. Recomendaciones para el diseño de circuitos electrónicos**

Al momento de elaborar un equipo o sistema electrónico se deben de considerar, además de las cuestiones puramente de diseño electrónico, un conjunto de recomendaciones encaminadas a la reducción del ruido.

De no tenerse en cuenta el problema del ruido en las etapas iniciales de un diseño se corre el peligro de encontrarse con problemas que consumen gran cantidad de tiempo y recursos. Es por esto que a lo largo de este apartado se enuncian algunas de las recomendaciones usadas para la reducción del ruido en sistemas electrónicos.

Los puntos a tratar son:

- i) Aterrizaje
- ii) Ancho de banda
- iii) Ruido en circuitos digitales

### **AA.1. Aterrizaje (grounding)**

Las tierras se pueden dividir en dos categorías: de seguridad y de señal. La tierra de seguridad generalmente se encuentra a potencial de tierra y requiere que el chasis del equipo eléctrico se encuentre conectado a una tierra física.

La tierra de señal puede estar o no al potencial de tierra, se define como un camino de baja impedancia por el cual la corriente retorna a la fuente.

En este punto se tratarán algunos aspectos de las tierras de señal, las cuales se dividen en tres categorías:

- i) Tierras de un sólo punto
- ii) Tierra multipunto
- iii) Tierras híbridas

#### **AA.1.1. Sistemas de tierra en un sólo punto**

Este tipo de tierra generalmente se maneja en sistemas con frecuencias menores a 1 MHz. Se tienen dos categorías:

##### **a) Tierra común**

En esta conexión se van colocando en serie las tierras individuales de los circuitos, esto trae como desentaja que los circuitos que producen altas corrientes afectan las etapas de bajo nivel. Debido a esto, esta configuración es la más problemática con respecto al ruido, pero por la simplicidad de conexión es la más utilizada.

##### **b) Tierra separada**

En esta configuración las tierras se conectan en un sólo punto, pero se maneja una conexión en paralelo de las tierras de los diferentes circuitos. Es por esto que no existe acoplamiento entre las corrientes de los diferentes circuitos.

Es la configuración más deseable a bajas frecuencias, mecánicamente su elaboración es molesta y requiere de mucho cable.

Estos sistemas tienen sus limitantes a altas frecuencias, ya que la inductancia de los conductores de tierra aumentan la impedancia de la misma.

#### **AA.2**

En la figura AA.1 se muestran las configuraciones de tierra común y tierra separada.

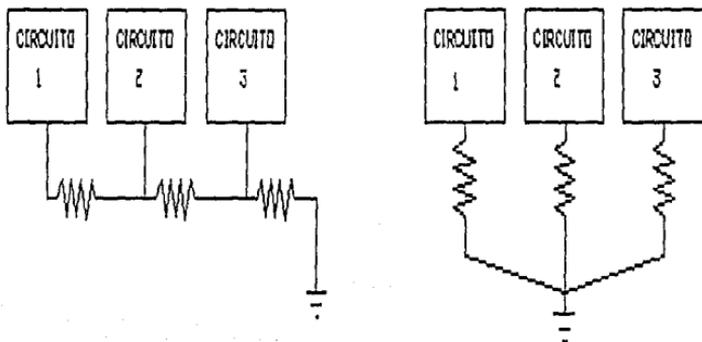


Figura AA.1 Tierra común (izquierda) y tierra separada (derecha).

#### AA.1.2. Sistemas de tierra multipunto

En este sistema los circuitos son conectados al plano de tierra de baja impedancia que se encuentre más cercano, generalmente se trata del chasis del equipo.

En la figura AA.2 se muestra la conexión de tierra multipunto.

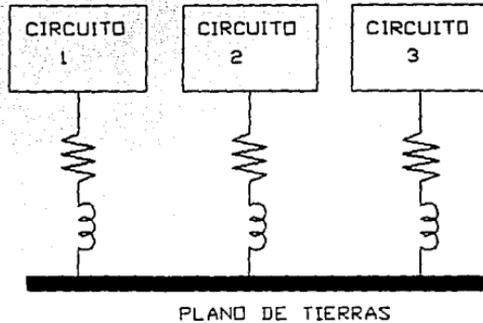


Figura AA.2 Tierra multipunto.

Estos sistemas se usan cuando se trabajan con altas frecuencias, generalmente mayores a 10 MHz, y en circuitería digital para minimizar la impedancia de la tierra, debido a que se tiene una inductancia baja.

Quando las frecuencias se encuentran en el rango de 1 MHz a 10 MHz, se utiliza el sistema de tierra en un sólo punto si el conductor más largo de tierra tiene una longitud menor a  $1/20$  de longitud de onda manejada. Si la longitud es mayor a la anterior se maneja el sistema multipunto.

Los circuitos digitales pueden ser tratados como circuitos de alta frecuencia debido a las altas frecuencias que producen.

Se necesita una buena tierra de baja inductancia, para lograrlo se puede utilizar un plano de tierra, o bien una malla (grid) de tierra.

### **AA.1.3. Tierras híbridas**

Este tipo de sistema consiste en una configuración conectada de tal manera, que en baja frecuencia se comporte como una tierra en un sólo punto y en alta frecuencia se comporte como una conexión multipunto. Este es el modelo de tierra híbrida más utilizado, sin embargo se puede encontrar también una configuración que se comporte de manera opuesta a la descrita.

### **AA.2. Ancho de banda**

Un método simple y poco considerado para minimizar el ruido en un sistema, consiste en limitar el ancho de banda del sistema al requerido por las señales utilizadas. El emplear más ancho de banda que el requerido permite que entren otras frecuencias de ruido al sistema.

El mismo principio se aplica a la lógica digital. Una lógica de alta velocidad es propensa a generar y a ser susceptible a interferencia de alta frecuencia en comparación con lógicas de menor velocidad.

### **AA.3. Ruido en circuitos digitales**

Debido a las frecuencias generadas en los sistemas digitales, se les considera como sistemas de radio frecuencia con potencial de interferencia y ruido. La alta velocidad de conmutación, combinada con la inductancia de los conductores que interconectan los circuitos digitales, los convierten en una de las principales fuentes de ruido.

Usualmente en los circuitos analógicos las fuentes de ruido externa tienen una importancia primaria. Mientras que en los circuitos digitales las fuentes de ruido internas tienen una mayor importancia. El ruido interno es el resultado de los siguientes factores:

- i) Ruido en la tierra
- ii) Ruido en las fuentes de alimentación
- iii) Señales reflejadas en líneas de transmisión
- iv) "Crosstalk" que se define<sup>1</sup> como una condición indeseable de operación de un sistema de comunicaciones, donde los efectos eléctricos en un circuito producen una corriente indeseable en otro circuito

Las recomendaciones que se dan a continuación se refieren a los primeros dos factores.

#### **AA.3.1. Fuentes de ruido internas**

Respecto a las fuentes internas de ruido se tienen dos causas principales, las cuales son:

- a) La inductancia de la tierra no es baja

Esto se debe a la existencia de capacitancias parásitas en los circuitos, las cuales al descargarse provocan corrientes transitorias elevadas que en conjunción con la inductancia de la tierra provocan pulsos de voltaje. Al presentarse variaciones del nivel de tierra, se generan alteraciones en los estados de salida.

Este problema se resuelve con un sistema de tierra de baja inductancia, el cual se tratará más adelante.

---

1 VAN NOSTRAND'S SCIENTIFIC ENCYCLOPEDIA

#### b) Ruido en la fuente de alimentación

Se presenta cuando una compuerta conmuta de nivel alto a bajo, ya que demanda una corriente transitoria elevada (alta frecuencia) que circula por los conductores de tierra y alimentación, esto provoca una caída transitoria de voltaje en la fuente de alimentación.

La solución consiste en colocar una fuente de carga (un capacitor de desacople) junto a cada compuerta. El capacitor suministra la corriente transitoria y evita que la misma circule por la inductancia de los conductores de tierra y de alimentación.

#### **AA.3.2. Ruido de tierra en circuitos digitales**

Este tipo de ruido provoca más problemas que el ruido de la fuente de alimentación. Se debe a corrientes transitorias de la fuente de alimentación, que se controlan con capacitores de desacople, y a corrientes de retorno de las señales, que no se pueden desacoplar.

Para minimizar el ruido por corrientes transitorias se debe de minimizar la inductancia de la tierra. Uno de los métodos utilizados para este fin consiste en dar caminos alternativos al flujo de corriente (deben de estar eléctricamente en paralelo).

#### **AA.3.3. Sistemas prácticos de aterrizaje de circuitos digitales**

El objetivo de estos métodos consiste en lograr una conexión de baja inductancia entre todas las combinaciones de comunicación entre los circuitos integrados. La manera más práctica de

lograr esto consiste en proveer el mayor número de caminos paralelos posibles.

Si se coloca un número infinito de caminos paralelos se obtiene un plano de tierra, que tiene la desventaja de ocupar una gran área; además de incrementar el costo por tener que utilizar otra tarjeta.

Un método menos efectivo que el anterior, consiste en utilizar un sistema de malla de tierra, en el cual se dan caminos de tierra verticales y horizontales.

Estos recomendaciones son dadas básicamente para la elaboración de circuitos impresos, pero pueden ser aplicadas en la elaboración de circuitos por medio de "wire wrap".

Otro método considerado para la reducción de la inductancia, consiste en minimizar el área encerrada por el "loop" formado por el flujo de corriente. Esto se logra colocando los conductores tan juntos como sea posible, con objeto de minimizar el área mencionada. Claro está, que esto último se aplica a la elaboración de circuitos integrados.

#### **AA.3.4. Desacople de la fuente de alimentación**

Debido al ruido de la fuente de alimentación, producido por las corrientes transitorias al fluir por la inductancia de la línea de alimentación, se requiere de la utilización de capacitores de desacople.

Un capacitor de desacople se conecta entre las terminales de tierra y alimentación de cada

circuito integrado. Cada capacitor tiene las siguientes funciones:

- i) Suministrar la corriente transitoria requerida por el circuito integrado.
- ii) Minimiza el área del "loop" generada por el flujo de la corriente transitoria del capacitor y del circuito integrado. Esto tiene por objeto minimizar la radio emisión.

#### **AA.3.5. Capacitor de desacople "bulk"**

Los capacitores de desacople ( $C_d$ ) deben de ser recargados (con una frecuencia mucho menor a la de conmutación). Esta función es realizada por un capacitor mayor, que recibe el nombre de "bulk" ( $C_{bulk}$ ) y que se encuentra muy cercano a la fuente, este capacitor es recargado por la fuente de alimentación.

El valor de este capacitor no es crítico pero debe de cumplir con la siguiente expresión:

$$C_{bulk} > 10 \sum_{i=1}^n C_{di} \quad n = \text{número de } C_d \text{'s}$$

Si existen más de 20 circuitos integrados en una tableta, se debe de usar más de un  $C_{bulk}$  y localizarse alrededor de la tableta. Cada  $C_{bulk}$  debe de estar cerca de cada 15 a 20 circuitos integrados.

Este tipo de capacitor debe de tener una pequeña inductancia equivalente en serie. Los capacitores electrolíticos de tantalio y metalizados de policarbonato cumplen con esta característica.

### **AA.3.6. Tipo, valor y colocación de los capacitores de desacople**

Los capacitores de desacople deben de suministrar corrientes de alta frecuencia (15-150 MHz), razón por la cual deben de ser capacitores de alta frecuencia y baja inductancia. Por esta razón se recomiendan los capacitores cerámicos en disco y los cerámicos multicapa, aunque normalmente se utilizan de tantalio (caso visto en circuitos de computadora).

Todos los capacitores tienen una inductancia en serie con su capacitancia. La inductancia es el resultado de la estructura del capacitor, sus terminales y la trayectoria usada para su conexión con el circuito integrado. Es por esto que el capacitor en determinada frecuencia se puede volver auto-resonante, presentando una baja impedancia y realizando adecuadamente su función de desacople de la fuente. Por encima de la frecuencia de resonancia el capacitor presenta una alta impedancia y ya no realiza su función de desacople.

Se recomienda no usar capacitores más grandes de lo necesario, ya que disminuye la frecuencia de resonancia. En cambio, si se utiliza un capacitor demasiado pequeño puede no tener la suficiente capacidad para suministrar las corrientes transitorias.

En base a resultados experimentales se ha encontrado que para circuitos integrados de 14 y 16 terminales, el voltaje mínimo de ruido comúnmente ocurre con capacitores de desacople de 470 a 1000 pF.

La mejor selección del capacitor corresponde al menor valor que cumpla con el trabajo requerido.

Se ha encontrado que rara vez un capacitor tiene un valor mayor a  $0.01 \mu\text{F}$ , a excepción de las memorias dinámicas (RAM). Típicamente una RAM dinámica de 256 KBytes requiere un capacitor de  $0.1 \mu\text{F}$ .

Con respecto a la colocación del capacitor, se recomienda que sea lo más cercano posible al circuito integrado, minimizando la inductancia de los conductores entre el capacitor y el circuito integrado.

En la figura AA.3 se muestran ejemplos de colocación.

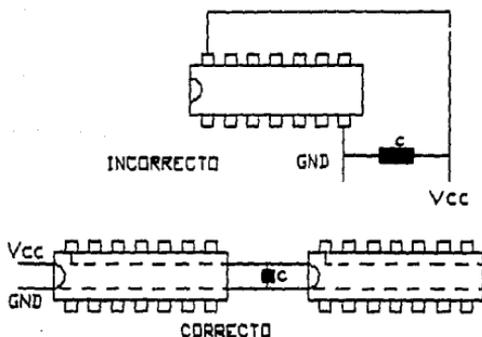


Figura AA.3 Colocación de capacitor de desacople.

#### **AA.4. Bibliografía**

- a) Noise Reduction Techniques in Electronic Systems  
Henry W. Ott  
Wiley Interscience  
Second edition  
1988
  
- b) Van Nostrand's Scientific Encyclopedia  
D. Van Nostrand Company, Inc.  
Third edition  
1958

## **Apéndice B. Distribuidores de celdas de carga**

Encontrar un distribuidor de celdas de carga en México o Estados Unidos es sumamente difícil, ya que la mayoría de las empresas que venden y/o reparan básculas electrónicas no cuentan con refacciones en existencia, siendo necesario hacer pedidos que cuando menos tardan de 8 a 10 semanas. Por otra parte, estas celdas aunque de buena calidad y cualidades tienen un costo elevado, las más económicas están por los 300 dólares americanos y hay quienes ofrecen unas de 1000 dólares americanos.

Después de dos meses de investigación se encontró una empresa denominada EPEL S.A. que es distribuidora en México de las básculas españolas Mavi. La celda que ofrecen tiene un costo aproximado de 150 dólares americanos, es de tamaño grande y actualmente es utilizada en la construcción de básculas comerciales. Las celdas se pueden comprar en dos capacidades 15 ó 30 kg. Ambas pueden tener la misma resolución digital en un momento dado, sin embargo sería necesario tener un ADC de más bits para el último caso. Mavi ha optado por tener un sólo sistema digital al cual con tal sólo cambiar la celda puede crear dos versiones de básculas con capacidades máximas de 16 y 32 kgf.

También se encontraron distribuidores de "strain gages", sin embargo no se consideró esta opción, por ser incosteable dedicarse a diseñar una celda exclusiva. Además siempre se buscó que el transductor fuera un elemento que formara parte del catálogo de una empresa, esto garantiza en cierta medida la existencia de refacciones.

Entre algunas casas visitadas se tiene:

Taylor Simpkins, Inc  
2000 Texas Avenue  
El Paso, Tx 79901

International Alliance  
10937 Pellicano Drive  
El Paso Texas 79935

General Instrument Corp.  
11801 Miriam Drive  
El Paso Texas

United Detector Technology  
116 Artcraft rd.  
El Paso Texas

Raytheon Service Co.  
7201 Montana Av.  
Midland Texas.

Distribuidor de Weigh-Tronix en México  
Goyan-Mar, S.A. de C.V.  
Jose Antonio Torres No. 761  
Colonia Viaducto Piedad

Mecanismos y Controles  
Av. Central No.212  
San Pedro de los Pinos

Constructora de Básculas  
Norte 59 No.880-b  
Col. Industrial Vallejo

Grupo HBC  
Calzada San Lorenzo Nc 229-4  
Unidad Industrial Iztapalapa

Básculas y Sistema Electrónicos  
Av. Circunvalación Pte. No 124  
Colonia Vista

Toledo Scale Co. de México  
Ingenieros Militares No. 85-206  
Col. Argentina

Centro de Básculas  
Naranjos 180  
Col. Petrolera

Básculas Electrónicas IPSA  
Industria y Potencia

Mavi Industrial  
Alta Tensión 80  
Molino de Rosas

Epel S.A.  
Rosa China 45  
Molino de Rosas

**Apéndice C. Distribuidores de motores y transmisiones de potencia**

Para la construcción de este prototipo, se revisaron varios tipos de motores y transmisiones con el fin de determinar cual de ellos proporcionaba el torque adecuado, capaz de romper una tableta de 25 kilogramos de dureza. Las partes empleadas son comerciales, sin embargo se obtuvieron de equipo usado. Algunos de los lugares que venden esos tipos de elementos se mencionan a continuación:

Grainger  
Pellicano Dr.  
El Paso Texas.  
(Con distribuidores en varios Estados de la Unión Americana)

Taylor Simpkins Inc.  
2000 Texas Ave.  
El Paso Texas 79923

En México también existen casas que venden transmisiones reductoras y motores, todas ellas se encuentran ubicadas en las calles de Artículo 123, Luis Moya, Av. Morelos, Ayuntamiento.

## Apéndice D. Características de los amplificadores operacionales

Las características que deben cumplir los amplificadores son las siguientes:

- i) Muy alta impedancia de entrada
- ii) Poco offset o forma de compensarlo
- iii) Gran inmunidad al ruido de la fuente
- iv) SR entre 0.5 y 10 V/useg
- v) Garantía de una determinada similitud en cada operacional.

Entre algunos de los amplificadores operacionales que cumplen esa condición se encuentran:

LM308, LM307, LM741J	National
TL071	Texas Instrument

De las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

- i) Todos los operacionales presentan una gran impedancia de entrada, y no mostraron indicios de una carga significativa hacia la celda.
- ii) Los amplificadores TL071 y LM741J presentan salidas para compensar el offset, por lo que puede ser anulado. Sin embargo en el LM741J esta corrección es en ocasiones demasiado grande.

Los amplificadores LM308 y LM307 no presentan forma alguna de compensar el offset de salida, el cual se encuentra alrededor de los 20 mV, siendo demasiado grande para este caso si se considera que la señal máxima de voltaje de la celda es de aproximadamente 15 mV.

- iii) Todos los amplificadores presentan una gran inmunidad al ruido y las variaciones de voltaje en la fuente no los afectan.
- iv) Sólo el SR del TL071 es mayor a 10 V/ $\mu$ seg y en todos los demás el slew rate es menor a 1 V/ $\mu$ seg sólo utilizable para manejar señales pequeñas o de variación lenta.
- v) Probando varios amplificadores se observó que el TL071 presentaba mayor similitud entre un integrado y otro.

Como se pudo observar el amplificador que cumple con todos los requisitos satisfactoriamente, es el TL071 por lo que fue seleccionado como elemento esencial de la parte analógica.

Las principales características del TL071<sup>1</sup> son las siguientes:

- i) Es un amplificador operacional de bajo ruido con entrada bi-fet
- ii) Es pin-compatible con el LM741J
- iii) SR .....13 V/useg
- iv) BW ..... 4 MHz
- v) IZ ..... 10<sup>12</sup>  $\Omega$

---

1) REFERIRSE A LOS MANUALES DEL FABRICANTE PARA MAYOR INFORMACION

**Apéndice E. Distribuidores de transductores de efecto Hall**

Encontrar un distribuidor de transductores de efecto Hall no es tan difícil como en el caso de la celda de carga. Existen distribuidores tanto en México como en los Estados Unidos, en el caso de México se tiene la opción de Honeywell mediante pedidos que toman de 6 a 8 semanas para hacerse efectivos.

Entre algunas de las casas visitadas se tienen las siguientes:

NEWARK ELECTRONICS  
Distribuidor oficial de Honeywell,  
División MICRO SWITCH  
1420 Geronimo Rd.  
El Paso Texas 79925-1848

Midland Wintronic Co.  
7741 Lockheed Drive  
El Paso, Texas 79925

REM Electronic Supply Company Inc.  
7198 Merchant Av.  
El Paso, Texas

INTERNATIONAL ELECTRONICS  
10937 Pellicano  
El Paso, Texas

UNITED DETECTOR TECHNOLOGY  
116 Artcraft Rd  
El Paso, Texas

## **Apéndice F. Mecanismo macrométrico del medidor de espesor**

Para el sistema medidor de espesor es necesario contar con un mecanismo de precisión, ya que de él depende en mucho la exactitud de las mediciones. Esto obliga a enfocarse en mecanismos con cremallera y piñón debido a su movimiento fino.

La construcción de un mecanismo de este tipo no es tarea fácil, se deben de tener conocimientos de metal-mecánica, tornos, fresadoras, materiales, etc. Por otra parte su costo inicial es elevado, por lo que para fines de experimentación resulta sumamente costoso.

Otra forma de afrontar el problema es buscar algún elemento que cumpla con la mayoría de los requerimientos. Uno de esos elementos es el mecanismo macrométrico de un microscopio, este tiene por definición un movimiento continuo y fino como el requerido para el medidor de espesor.

Por otra parte, existen en México fábricas de microscopios 100 % nacionales que venden refacciones para sus equipos. Las contactadas son las siguientes:

Microscopios y aparatos ópticos de precisión,  
S. A.  
San Carlos No.20  
México 20, D. F.

Microscopios, S. A. de C. V.  
Camino Real a San Lorenzo No. 263  
Col. Barrio de San Miguel Iztapalapa

Tomando en cuenta, disponibilidad, precio, tiempo de entrega y funcionamiento se optó por Microscopios, S. A. de C. V.

Este mecanismo cuenta con:

- i) Una corredera que permite acoplar el brazo para mover otras piezas.
- ii) Un armazón y soporte que permite una fácil instalación.
- iii) El piñon viene montado sobre un eje.
- iv) Intervienen otras piezas cuya finalidad es dar sujeción y rigidez al conjunto, como serían tornillos y tuercas.

## Apéndice G. Herramientas de hardware y software utilizadas

Para la realización de este proyecto se requirieron del uso y diseño de herramientas de software y hardware. Dichas herramientas son las siguientes:

### a) Sistema monitor de depuración ASSIST05 V. 2.0

Este sistema es el kit básico de trabajo recomendado por Motorola<sup>1</sup> para conocer el funcionamiento de los microcontroladores de la familia 6805.

El hardware requerido es un MC146805E2, una memoria eprom 2716 y un puerto serial RS-232C compatible (6850).

Este sistema permite comunicarse y programar el microcontrolador por medio de una terminal que cuente con un puerto serial RS-232C compatible. Entre los comandos ejecutables se encuentran:

- Corrida libre (G)
- Tres break points (B)
- Visualización de registros (A, X, SP, PC)
- Revisión y/o modificación de memoria (M)
- Despliegue de información en formato S1-S9
- Carga de información en formato S1-S9

La memoria ram disponible para programación es de 48 bytes, con un stack de 64 bytes.

De esta descripción se observa que el sistema está sumamente restringido, requiriéndose un conjunto de adiciones en el hardware y software.

---

1) M6805 HMOS, M146805 CMOS FAMILY  
MICROCOMPUTER/MICROPROCESSOR USER'S MANUAL. SECOND  
EDITION

Las mejoras realizadas a este kit básico son las siguientes:

- Se depura el mapa de memoria para dar cabida a 3Kbytes de rom, 2Kbytes de ram y 8 direcciones libres para futuros dispositivos.
- Se agregan salidas controladas bidireccionales para cada uno de los puertos paralelos del microprocesador (A y B).
- Se añaden dos rutinas de software. La primera para desplejar bloques de memoria en la pantalla de la terminal y la segunda para copiar bloques de memoria.

Con esta versión mejorada se diseñaron y probaron los sistemas medidor de espesor y durómetro. Es muy importante recalcar que el diseño de estos dos sistemas hubiera sido imposible de no contar con esta herramienta de trabajo, ya que todos los procesos se realizan en tiempo real por lo que un simulador no sirve para este caso.

Al final del apéndice se muestra el diagrama de terminales de este kit.

#### b) Módulo de memoria

El kit del MC146805 resultó muy útil para desarrollar sistemas basados en ese microprocesador, sin embargo no brindaba ningún apoyo en otro tipo de sistemas.

Esta limitante provocó el diseño de un módulo de memoria compartida, la cual expande las funciones del sistema original, obteniéndose las siguientes ventajas:

- Se pueden correr programas (ensamblados) en cualquier otro microprocesador de manera casi instantanea
- Se utiliza una terminal para la comunicación con el kit ASSIST05 y con el sistema desarrollado
- Permite guardar y cargar información a través de la terminal
- Los formatos de salida de los programas pueden ser OBJ, TSK, HEX, M. Todos ellos pueden ser cargados en la memorias.
- Permite visulizar y/o modificar el contenido de las memorias.

El principio de funcionamiento es muy sencillo, ya que consiste en el empleo de lógica tri-state y lógica combinacional para crear una tarjeta que permita compartir tres memorias ram entre dos sistemas distintos; uno será conocido como maestro y otro como esclavo.

Los atributos y privilegios para cada uno de los sistemas es distinto y se describe a continuación:

- El sistema maestro es el kit ASSIST05, pero puede ser cualquier sistema que permita la comunicación con una terminal y además cuente con una memoria ram 6116. De este sistema se remueve la memoria ram 6116 y se coloca un conector pin compatible; en ese momento el sistema maestro tiene la capacidad de visualizar hasta 10kbytes de memoria distinta en bloques de 2kbytes. Las funciones de los switches se mencionan en la tabla AG.1.

SW3	SW2	SW1	SW0	Esclavo	Maestro
Memorias seleccionadas para el sistema maestro					
0	0	0	0	Memoria baja rom, ram 1	
0	0	0	1	Memoria alta rom, ram 2	
0	0	1	0	Memoria ram	, ram 3
0	0	1	1		rom baja
1	0	1	1		rom alta
Memorias seleccionadas para el sistema esclavo					
x	1	x	x		

Tabla AG.1 Funciones de los switches

- Con respecto al sistema esclavo, este tendrá la posibilidad de utilizar dos conectores. El primero de ellos es un conector pin compatible con una memoria eprom 2732 de 200 ns, y el segundo es un conector pin compatible con una memoria ram 6116 de 200 ns. Estos conectores permiten al módulo de memoria emular el funcionamiento de las dos memorias anteriores, con la ventaja de que estas pueden ser alteradas a través del sistema maestro.

El diagrama de terminales de esta tarjeta se muestra al final del apéndice. Este diseño es totalmente original.

c) Ventana de comunicaciones (PC-TALK)

El programa PC-TALK convierte una IBM-PC o compatible en una terminal con puerto serial RS-232C compatible. Permite transmitir o recibir información con tasas variables de 150 a 1200 bps, así como el empleo de las unidades de almacenamiento.

Con esta ventana de comunicaciones se maneja la información generada por el sistema ASSIST05 (se manipulan registros y zonas de memoria).

d) Compilador del Z80 CPU:

Para los programas basados en el Z80 CPU se maneja el programa denominado x80, que manifiesta la siguiente información:

Z80 CROSS ASSEMBLER V 3.01  
1983 BY 2500 A.D. SOFTWARE, INC.

Con él se ensamblaron todas las rutinas y subrutinas empleadas durante el desarrollo de este módulo. En forma aproximada este ensamblador trabajó con 4000 líneas de código distinto para dar un total de 9 Kbytes de programación, del cual sólo se utilizaron 7 Kbytes, los otros 2 Kbytes restantes corresponden a pequeños programas diseñados para probar algunos bloques en forma independiente.

Los programas a compilar se guardan como archivos no documento y extensión "asm", la salida del programa es un archivo en código objeto ("obj") y un archivo con los códigos operativos y errores ocurridos.

e) Simulador del Z80 CPU

Para simular el funcionamiento del Z80 CPU se usa el programa denominado simz80 elaborado por Luis Jesús Virueña Silva.

Universidad Autónoma Metropolitana.  
Proyecto H-Presidium.  
Versión 2. Año 1986.

Con este simulador se revisaron los programas de estadística, gráficas, modo normal, modo calibración y rutinas varias; los demás programas no se probaron con el simulador por ser poco efectivo cuando los dispositivos de entrada/salida son decodificados como memoria.

f) Ligador con salida en formato Intel hex

Este ligador convierte el archivo objeto generado por el compilador, en un archivo con formato Intel hex. Este programa ligador se denomina link2, y manifiesta la siguiente información:

2500 A.D. Z80 LINKER FOR INTEL HEX OUTPUT  
V. 3.01a

g) Ligador con salida ejecutable

Este ligador es empleado para traducir un archivo objeto, en un archivo con formato TSK. Este programa se denomina link5, y manifiesta la siguiente información:

2500 A.D. Z80 LINKER FOR EXECUTABLE OUTPUT  
V. 3.01a

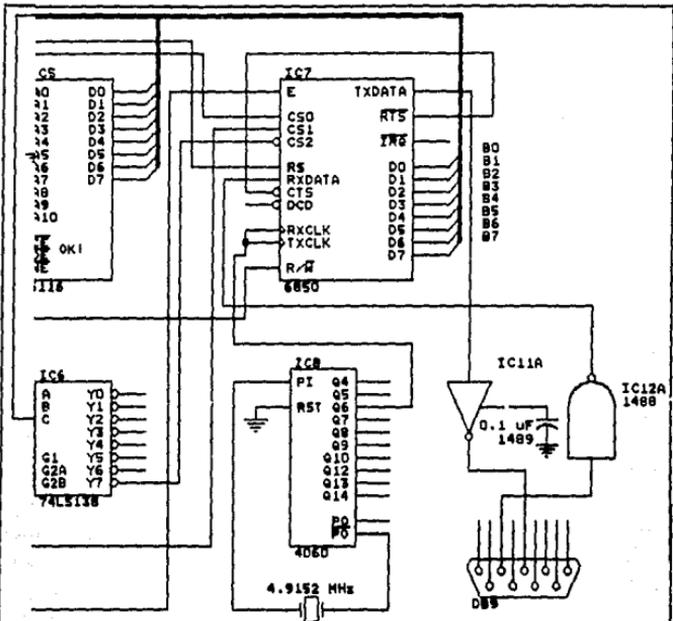
h) Convertidor del formato Intel hex a S1-S9:

Para aprovechar el sistema ASSIST05 y el módulo de memoria, se elaboró el programa de conversión de formato Intel hex a S1-S9.

i) Otros paquetes de software:

Como herramientas auxiliares de software se emplean los siguientes paquetes:

- Word star: para generar los archivos a compilar por el programa x80.
- Quattro: herramienta para obtener gráficas de caracterización.
- Mathcad: herramienta para obtener gráficas de caracterización y para realizar interpolaciones de funciones no lineales.
- Autocad: herramienta de dibujo.
- Orcad: herramienta de dibujo.
- Paint brush: herramienta de dibujo.



APENDICE G

AG.8

Title

KIT DEL 146805

Size Document Number

REV

B

1

2

Date: September 2, 1990 Sheet

1 of 2

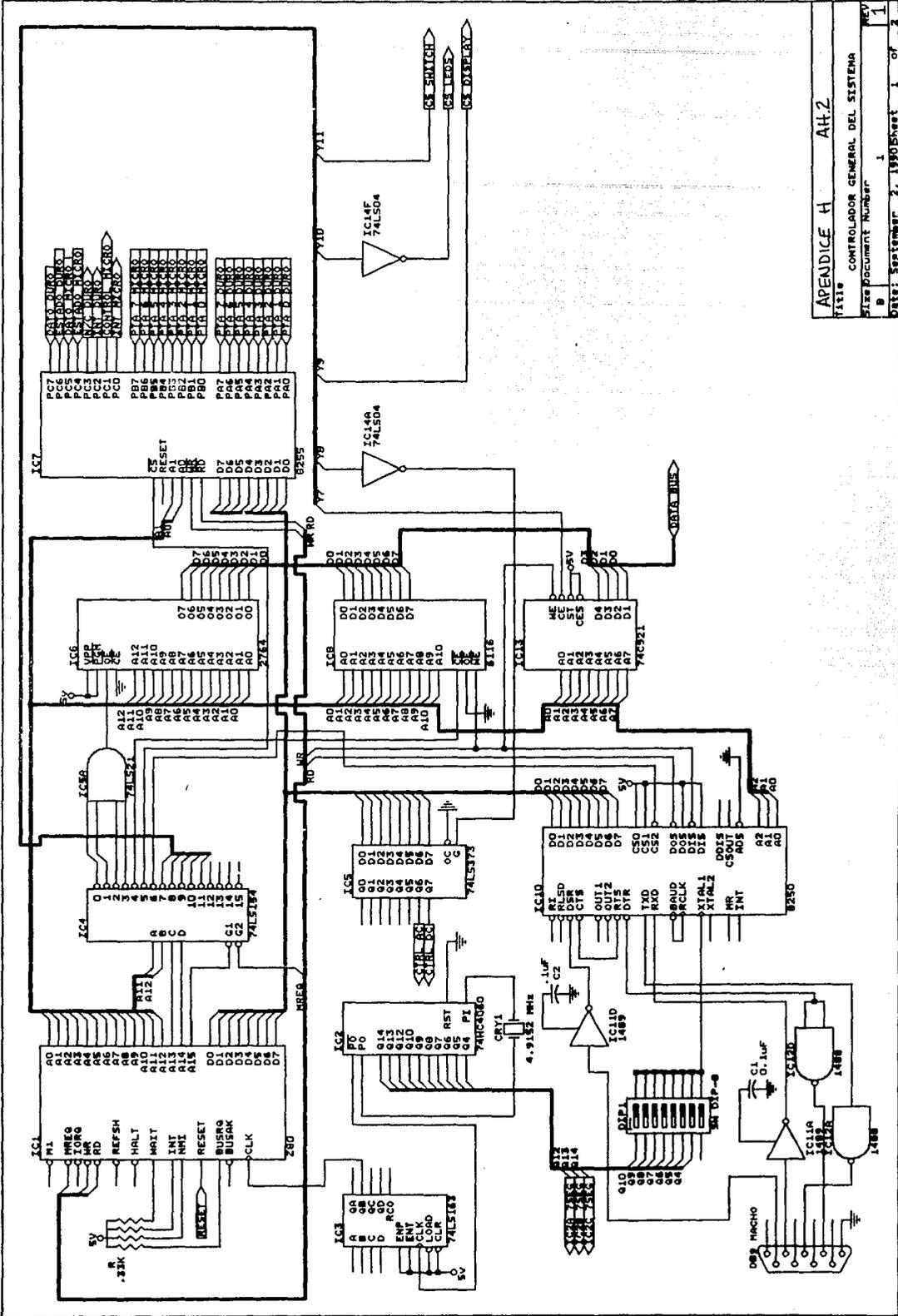
**Apendice H. Diagramas de terminales del sistema maestro, durómetro y medidor de espesor.**

A continuación se muestran los diagramas de terminales de cada uno de los módulos que integran al sistema PS I.

Todos estos diagramas se elaboraron con el paquete ORCAD.

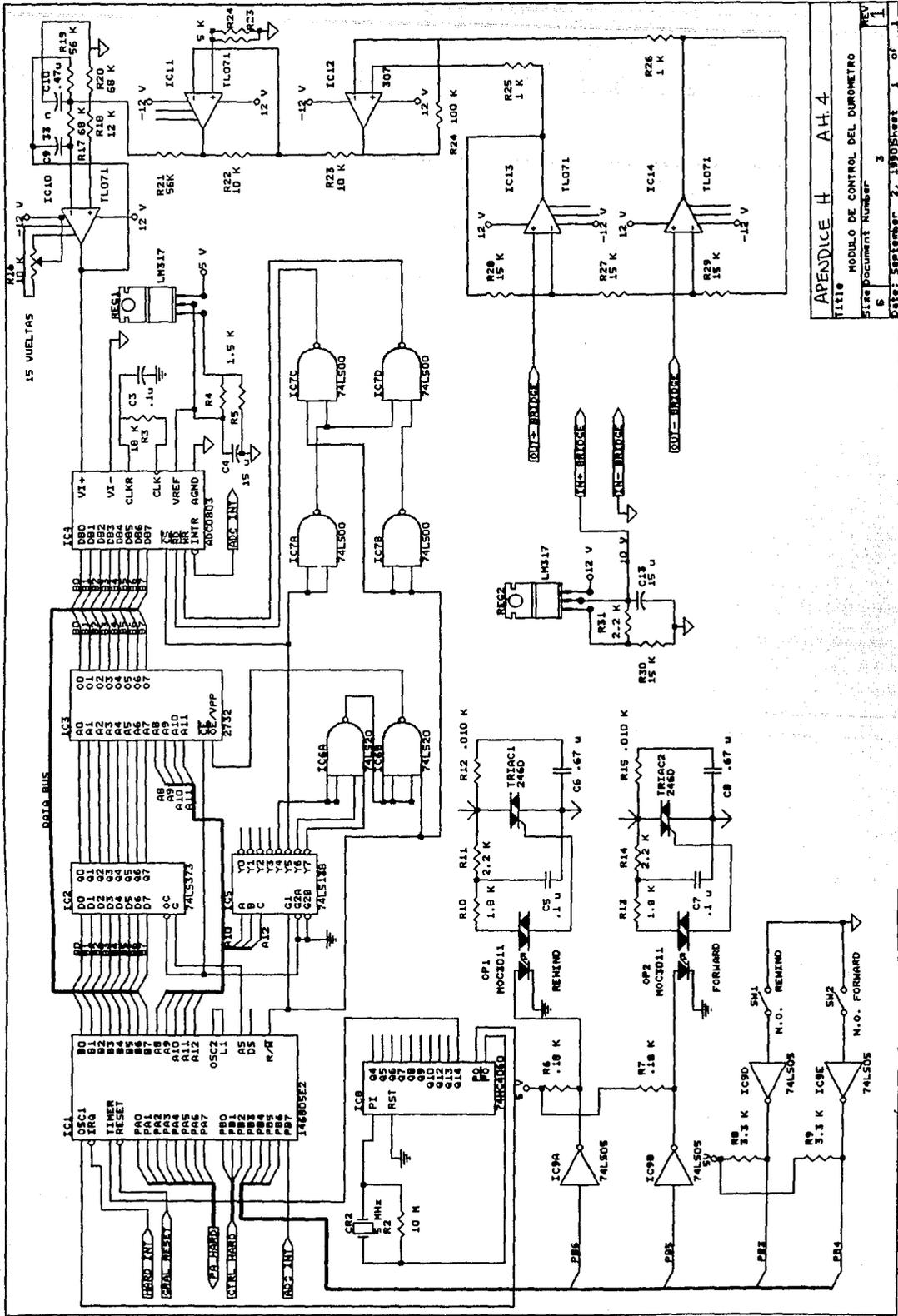




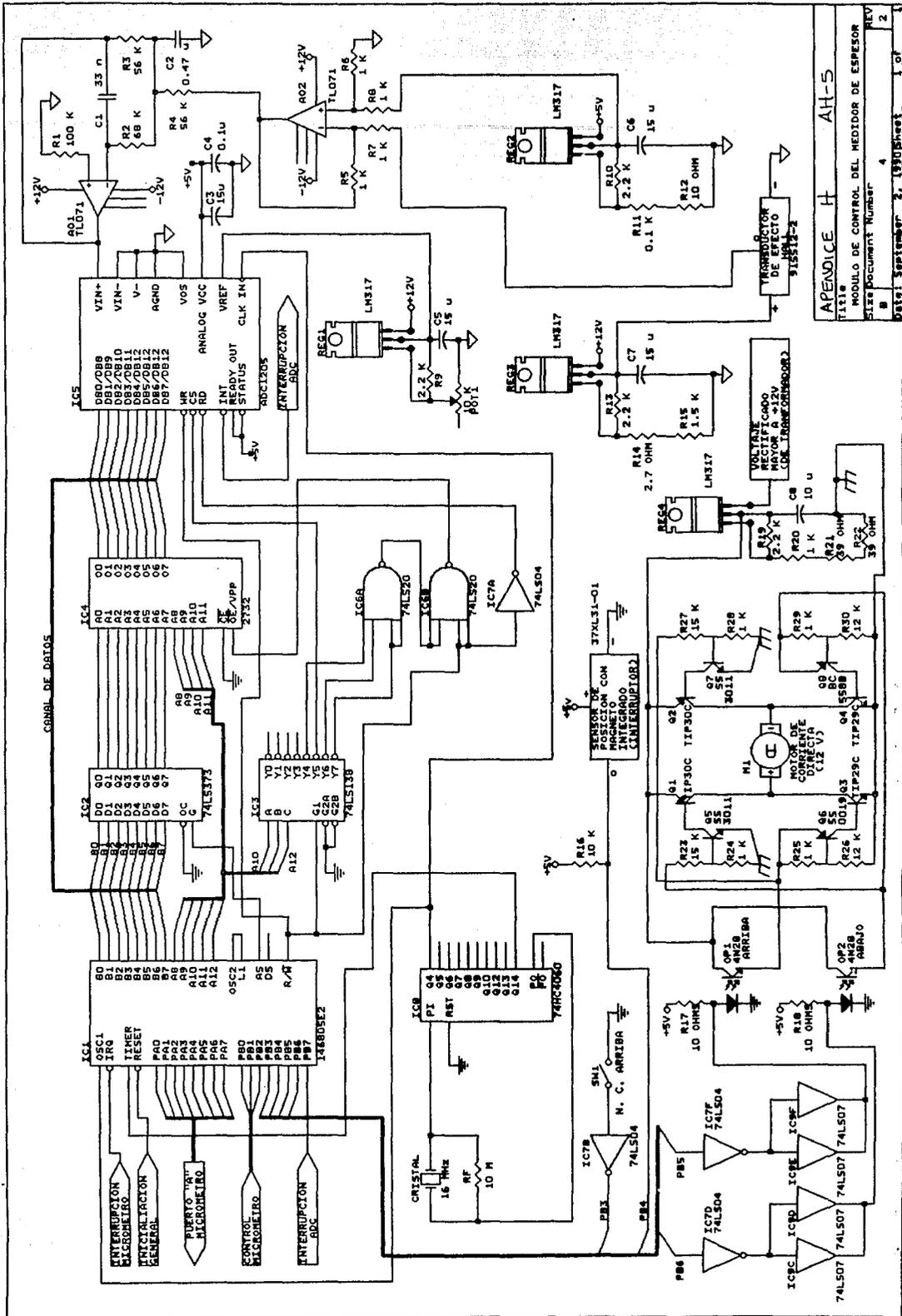


APENDICE H AH.2  
 TABLA CONTROLADOR GENERAL DEL SISTEMA  
 Size Document Number: 1  
 DATE: SEPTEMBER 2, 1980 SHEET 1 OF 1





APENDICE H AH.4  
 TITULO MODULO DE CONTROL DEL TACHOMETRO  
 Size Document Number 3  
 6  
 Date: September 3, 1990 Sheet 1 of 1



APEXINDICE H AH-5  
 T1318 MODULO DE CONTROL DEL MEDIDOR DE ESPESOR  
 Sheet Document Number 4  
 REV 2  
 03/11/2010 2.130 Sheet 1 of 1