

01126  
60



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## DESARROLLO DE UN SINTETIZADOR DE FORMAS DE ONDA ARBITRARIAS.

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO  
E L E C T R I C I S T A

PRESENTA:

**GUSTAVO ZAVALA AGUIRRE.**



DIRECTOR DE TESIS:  
ING. MARÍA IBARRA PEREYRA.

Autorizo a la Dirección General de Biblioteca de la UNAM a difundir en formato digital el contenido de mi obra.

NOMBRE: GUSTAVO ZAVALA AGUIRRE  
FECHA: 17 de Mayo 2003  
FIRMA: [Signature]

MÉXICO, D.F. 2003



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	i
<b>CAPÍTULO I. ANÁLISIS ESPECTRAL Y TEMPORAL DE SONIDOS VOCALES.....</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivos.....	1
1.2    Sonidos vocales.....	2
1.3    Definiciones de ancho de banda.....	9
<b>CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y POSIBLES SOLUCIONES.16</b>	<b>16</b>
2.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.1.1    Forma de onda.....	17
2.1.2    Frecuencia.....	17
2.1.3    Amplitud.....	17
2.1.4    Tolerancia.....	17
2.1.5    Precisión.....	19
2.2    POSIBLES SOLUCIONES.....	20
2.2.1    Por suma de componentes senoidales.....	20
2.2.2    Filtrando una onda con muchas componentes espectrales.....	20
2.2.3    Por deformación alinear de una onda senoidal.....	22
2.2.4    Por síntesis digital.....	22
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO DEL SINTETIZADOR.....</b>	<b>24</b>
3.1    Descripción general.....	24
3.2    Entrada de datos.....	25
3.3    Codificador decimal a decimal codificado en binario(BCD).....	28
3.4    Decodificador BCD a siete segmentos.....	30
3.5    Visualización de la información.....	30
3.6    Convertidor BCD a binario.....	33

3.7	Generador de direcciones.....	35
3.8	Circuito de memoria.....	37
3.9	Convertidor digital analógico.....	38
3.10	Desarrollo del filtro paso-bajas(FPB).....	39
3.11	Base de tiempos o Temporizador .....	41
3.12	Fuente de alimentación.....	44
3.13	Diagrama general del sintetizador.....	45
<b>CAPÍTULO IV. CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y AJUSTES.....</b>		<b>47</b>
4.1	Construcción.....	47
4.2	Pruebas y ajustes.....	56
4.3	Presentación del sintetizador.....	64
<b>CAPÍTULO V. Conclusiones.....</b>		<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>70</b>
<b>GLOSARIO DE COMPONENTES.....</b>		<b>71</b>
<b>INDICE DE FALLAS.....</b>		<b>72</b>

## INTRODUCCIÓN.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El propósito básico de las comunicaciones eléctricas, es el de lograr que cualquier mensaje o información viajen cierta distancia entre dos puntos, tan próximos o tan lejanos como se quiera.

Los mensajes que se transmiten pueden ser audio, video, textos alfanuméricos o datos digitales, pero todas estas formas de información tienen la característica común de que son aleatorias.

Lo anterior deriva del hecho de que si un mensaje no fuera aleatorio, entonces el receptor lo conocería antes de recibirlo, y por tanto no tendría caso enviarlo.

En los laboratorios de Electrónica y Comunicaciones de la Facultad, se cuenta con generadores de señal que pueden simular mensajes, pero debido a que estas señales son periódicas, la simulación no se realiza apropiadamente.

Por otra parte, si se pudiera generar una señal realmente aleatoria, los experimentos que se realicen en los laboratorios, desde un punto de vista académico, no podrían llevarse a cabo en forma adecuada, pues sería muy difícil comparar la señal transmitida con la señal recibida.

A partir de las consideraciones anteriores, se desprende que sería útil el disponer de una fuente de señales no absolutamente aleatorias, es decir, de señales pseudoaleatorias, para que su análisis espectral y temporal pueda llevarse a cabo con relativa comodidad, y la simulación sea aceptablemente buena.

Las técnicas para producir señales pseudoaleatorias son de dos tipos: analógicas y digitales, y el presente trabajo se orienta al segundo tipo por razones que se expondrán en su oportunidad.

Además del diseño, la construcción, y las pruebas de un sintetizador de señales pseudoaleatorias, la presente tesis trata brevemente de las técnicas para analizar experimentalmente señales de voz, y menciona algunas áreas de aplicación del generador que ahora se implementa.

Finalmente, el trabajo termina presentando una autocrítica, así como una evaluación de lo que se ha realizado.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

## **CAPÍTULO I.**

# **ANÁLISIS ESPECTRAL Y TEMPORAL DE SONIDOS VOCALES**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **1.1 Objetivos**

Los objetivos que se persiguen al intentar caracterizar las vocales en el tiempo y en la frecuencia pueden ser muy variados. Entre lo más novedoso se encuentra el de producir artificialmente la voz humana, y el de lograr que una computadora entienda las palabras pronunciadas por el hombre.

También, con el análisis espectral y temporal se puede eliminar la información redundante contenida en los sonidos emitidos al hablar, ya que cada persona, independientemente de lo que esté diciendo, produce inconscientemente una serie de sonidos repetitivos, que son los que le dan la tonalidad particular a su voz.

Tales señales repetitivas, por el solo hecho de serlo, no contienen información alguna, y desde un punto de vista teórico, es innecesario transmitir las.

La transmisión digital de una voz humana, normalmente requiere un mínimo de 64 kbits/seg, sin embargo, eliminando los sonidos redundantes, puede reducirse dicha cifra a 32 o 16 kbits/seg, con el consiguiente abaratamiento del proceso.

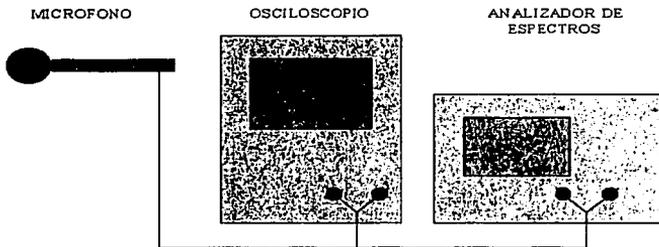
Un objetivo no tan espectacular pero si necesario e importante del análisis que nos ocupa, es el determinar los rangos de amplitudes y frecuencias de la señal que se desea enviar, para saber si se cumple con las normas nacionales e internacionales y para solicitar el permiso correspondiente ante las autoridades del ramo.

## **1.2 Sonidos vocales**

Se le llama sonidos vocales, a todas aquellas señales acústicas provenientes de la garganta de cualquier ser humano, independientemente de su edad, sexo, idioma o motivación. Obviamente, esta definición no incluye los sonidos emitidos por seres vivos irracionales.

El autor manifiesta particular interés en intentar un breve análisis de los sonidos vocales, por lo que estos van a producirse a continuación en forma real, y en un capítulo posterior se tratará de obtener los mismos pero de manera artificial.

Para producir dichos sonidos en forma real, es decir, como se emiten desde la garganta, se realizó el arreglo de la Fig. 1.1. Esta muestra la conexión en paralelo de un micrófono, un osciloscopio y un analizador de espectros; los cuales, al pronunciar cada vocal continuamente, harán que se observe tanto el oscilograma como el respectivo espectro de frecuencias.

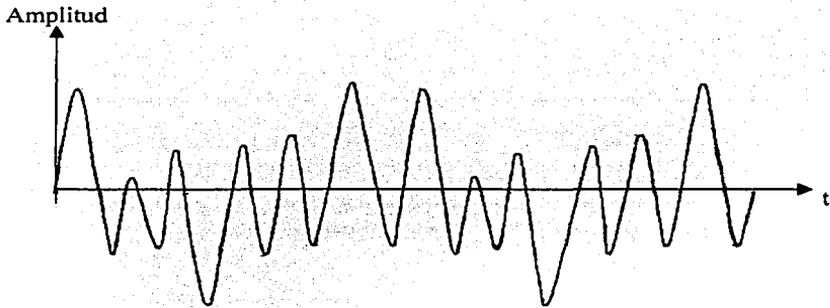


**Fig. 1.1 Configuración en paralelo**

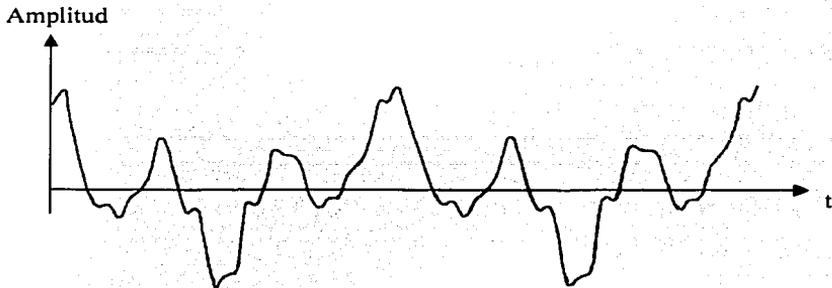
Para transferir el oscilograma al papel existen varias técnicas: la más rudimentaria consiste en copiar a mano la figura directamente de la pantalla del instrumento; la técnica fotográfica es de todos conocida; el osciloscopio de memoria es un procedimiento de gran elegancia, y el más sofisticado es el que usa un interfase para activar una graficadora electromecánica.

Debido a las limitaciones del laboratorio, la obtención del oscilograma se hará copiando a mano la figura que aparezca en la pantalla. Para facilitar este trabajo se ajustará el tiempo de barrido del osciloscopio de manera que se exhiban dos ciclos de la onda que se esté analizando, y enseguida, se grabará previamente el sonido en una cinta magnética, para que el operador no tenga que estar emitiendo la voz y dibujando simultáneamente. Los resultados obtenidos con este procedimiento se muestran en las gráficas de las figuras 1.2 a 1.6.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



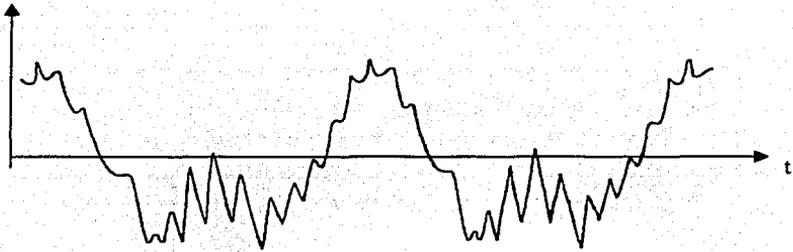
**Fig. 1.2 Oscilograma "A"**



**Fig. 1.3 Oscilograma "E"**

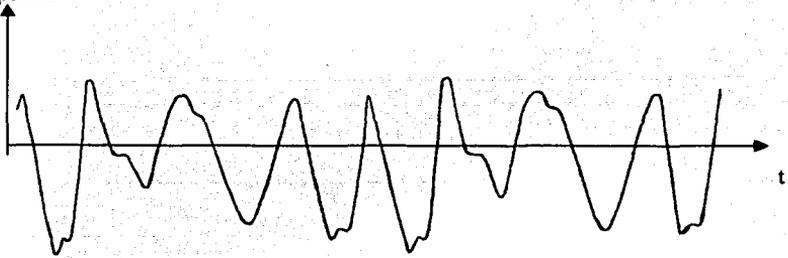
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Amplitud



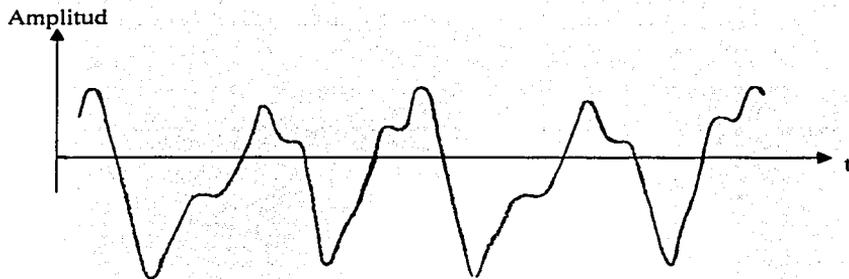
**Fig. 1.4 Oscilograma "I"**

Amplitud



**Fig. 1.5 Oscilograma "O"**

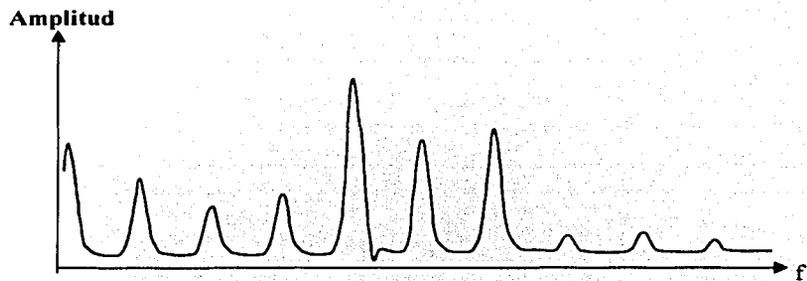
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



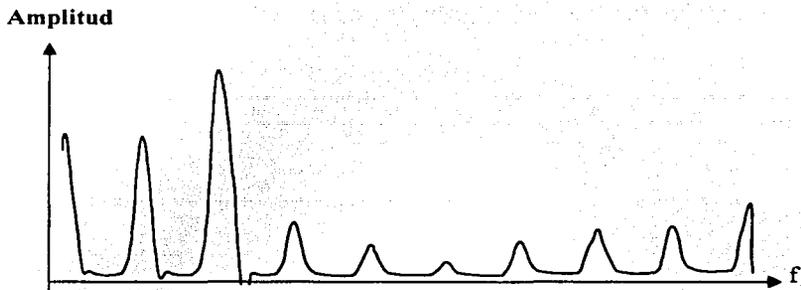
**Fig. 1.6 Oscilograma "U"**

Para obtener el espectro el problema no es tan complejo, pues el fabricante del analizador (de espectros) implementó también una máquina graficadora de tipo X-Y "cama plana" que puede acoplarse al mismo, y el laboratorio sí dispone de estos dispositivos; de manera que conforme se va trazando el espectro, también se va dibujando en el papel del graficador. Estos resultados se aprecian en las gráficas de las figuras 1.7 a 1.11.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 1.7 Espectro "A"**



**Fig. 1.8 Espectro "E"**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

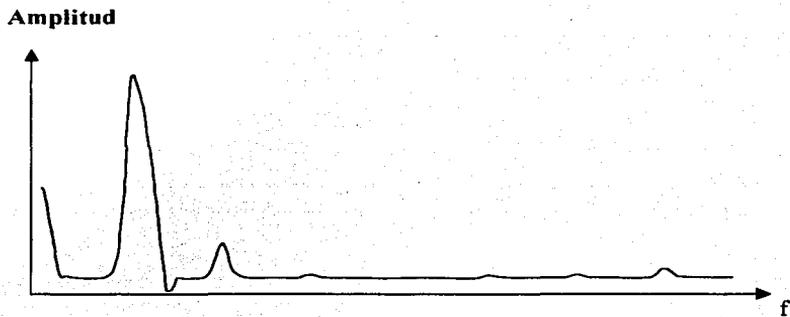


Fig. 1.9 Espectro "I"

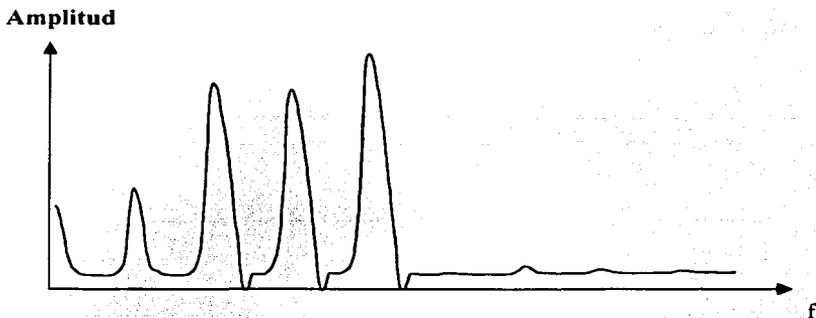
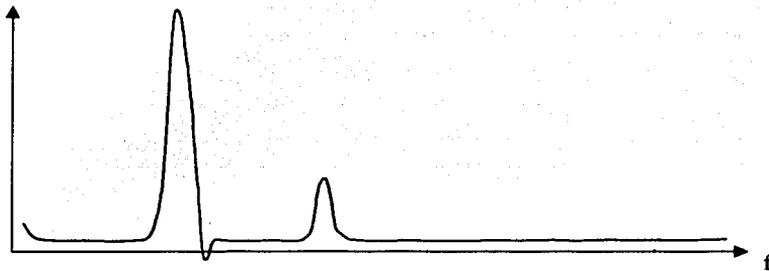


Fig. 1.10 Espectro "O"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Amplitud**



**Fig. 1.11 Espectro "U"**

### **1.3 Definiciones de ancho de banda**

El primer aspecto a considerar en el análisis de la voz es el ancho de banda que esta ocupa. Definir este concepto es difícil, pues existen diferentes formas de hacerlo, a saber:

#### **1.3.1**

El ancho de banda se define como aquella gama de frecuencias fuera de la cual no existe componente alguna de la señal que estemos analizando.

Esta definición es demasiado general y muy imprecisa, ya que la teoría de Fourier afirma que una señal limitada en el tiempo tiene un ancho de banda infinito, así mismo, una señal limitada en frecuencia es perpetua en el tiempo. Como ejemplo de lo dicho, tenemos que un pulso rectangular en el dominio del tiempo produce un espectro conocido como función Sinc, la cual abarca todas las

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

frecuencias (de  $-\infty$  a  $+\infty$ ), y por otro lado, la función Sinc que en el tiempo es perpetua, nos produce un espectro que es un pulso rectangular limitado en frecuencia. La Fig. 1.12 muestra lo dicho.

Considerando lo anteriormente expuesto, y tomando en cuenta que la señal de voz está limitada en el tiempo, entonces esta debe tener un ancho de banda infinito, pero en la realidad no sucede así, porque en primer lugar el aparato que produce el habla no puede vibrar a frecuencias altas, en segundo lugar el aire no puede transmitir altas frecuencias, y en tercer lugar los espectros tienen variación tendiente a cero al aumentar la frecuencia.

### 1.3.2

Se define el ancho de banda como el rango de frecuencias que incluye a todas las componentes espectrales cuya potencia sea mayor a un valor prefijado. Este puede ser un porcentaje de la potencia contenida en la componente más grande.

Esta definición implica que se están despreciando componentes espectrales cuya potencia sea menor al valor prefijado, lo cual es acorde con la convención utilizada en telefonía, en donde se considera que el ancho de banda de la voz humana está comprendido entre 100 y 3500 Hertz. Este rango de frecuencias es perfectamente adecuado para la conversación, pues nos permite entender lo que dice nuestro interlocutor, aunque se pierda un poco de tonalidad en la voz por la eliminación de algunas componentes de frecuencias menores de 100 y mayores de 3500 Hertz.

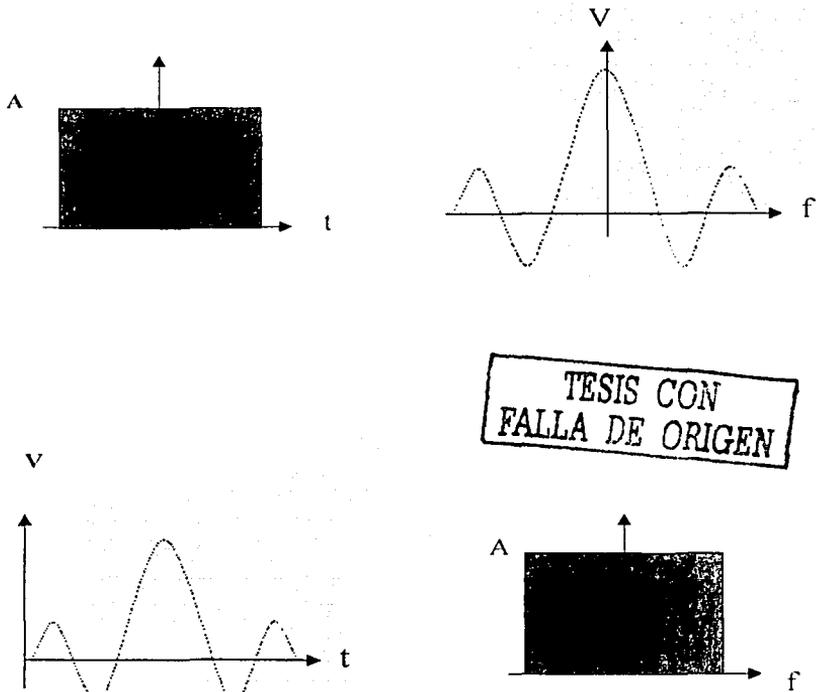


Fig. 1.12 Oscilogramas y espectros de un pulso rectangular y una función  $(\text{sen } x)/x$

### 1.3.3

En espectros continuos se suele manejar el concepto de densidad espectral de potencia, que es una función de  $\omega$  cuya integral de  $-\infty$  a  $+\infty$  nos da la potencia total de la señal. De aquí que definamos el ancho de banda como aquel rango de frecuencias en el cual la integral de la densidad espectral es el 90% de la potencia total. Esto es:

$$\text{si:} \quad \int_{-\omega_r}^{\omega_r} S(\omega) d\omega = 0.9 \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega$$

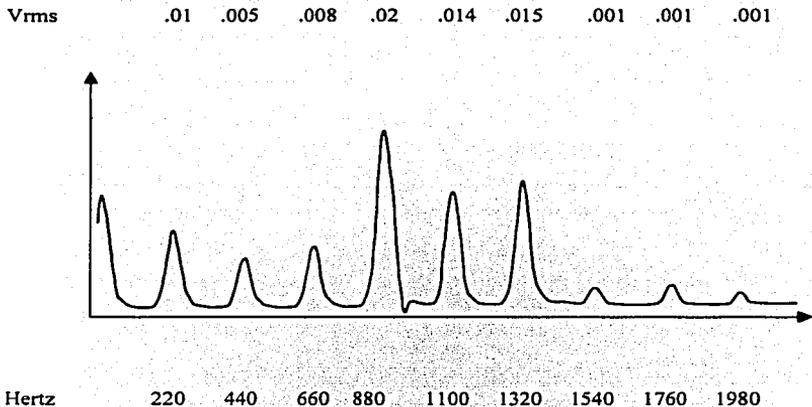
entonces, el ancho de banda de la señal abarca desde cero hasta  $\omega_x$  [rad/seg].

Teniendo en cuenta que el espectro de la señal de voz no es continuo, la definición del inciso 1.3.3 no es aplicable a nuestro caso, y por razones obvias, tampoco la del inciso 1.3.1.

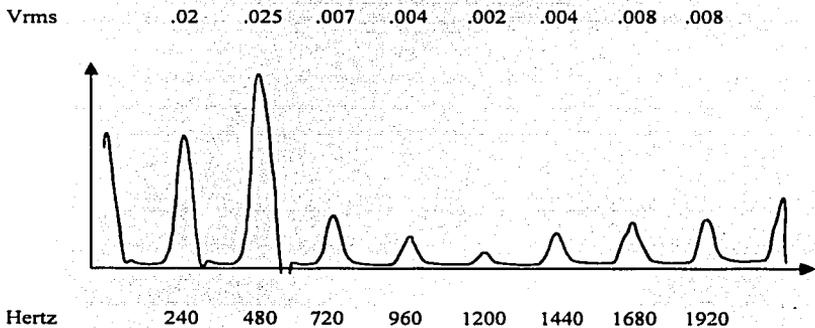
La definición del inciso 1.3.2, podrá ser utilizada si logramos obtener el espectro de voltajes con el analizador del laboratorio, para luego hacer la conversión a espectro de potencias.

En un espectro discreto, donde no hay correlación entre las diferentes líneas, la conversión voltaje-potencia se logra elevando al cuadrado la amplitud de cada componente.

Por todo lo anteriormente dicho, concluimos que para obtener el ancho de banda de las señales de voz, debemos hacer que el analizador nos dé las gráficas de las líneas de voltaje, transferirlas al papel, elevar al cuadrado las alturas, despreciar aquellas líneas que no alcancen el porcentaje prefijado, y finalmente, determinar el ancho de banda con las líneas restantes. El resultado de este proceso se aprecia en las gráficas de las figuras 1.13 a 1.17.

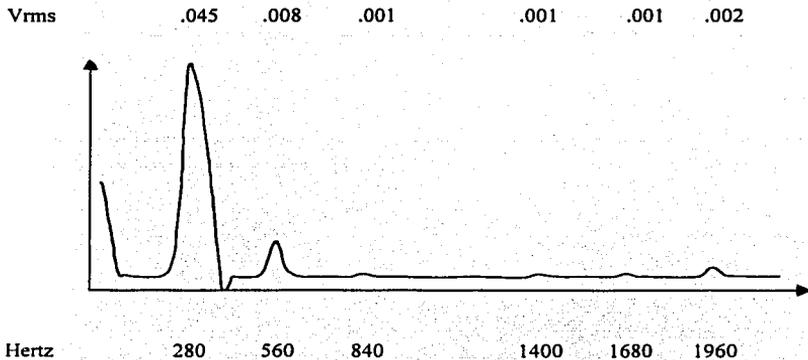


**Fig. 1.13 Espectro del sonido "A"**

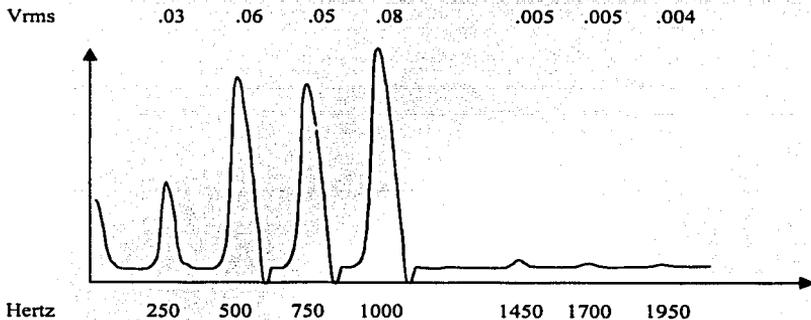


**Fig. 1.14 Espectro del sonido "E"**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 1.15 Espectro del sonido "I"**



**Fig. 1.16 Espectro del sonido "O"**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

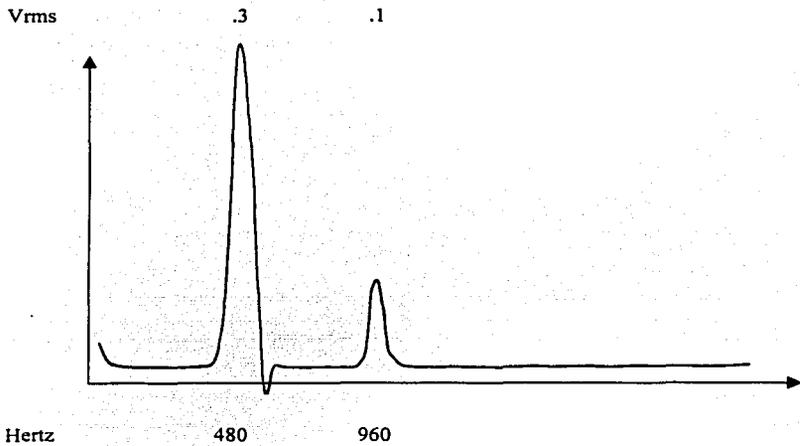


Fig. 1.17 Espectro del sonido "U"

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CAPÍTULO II.**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y POSIBLES  
SOLUCIONES**

**2.1 Planteamiento del problema**

El diseñador de cualquier dispositivo, debe comenzar su trabajo a partir de tener bien establecidas las especificaciones de todos y cada uno de los requerimientos que el equipo en cuestión deberá satisfacer, así como también, las tolerancias asociadas. Esto último es de vital importancia y no lo debe descuidar el proyectista, pues como todo Ingeniero sabe, la exactitud absoluta no puede ser obtenida. Por ejemplo, si se pidiera construir un generador de 1000 Hertz, nunca se podrá satisfacer esta especificación, ya que los mismos frecuencímetros patrón tienen un error variable que se incluye siempre en los manuales de operación y servicio de los fabricantes.

De lo dicho anteriormente, dos opciones se pueden tener cuando no es especificada la tolerancia:

- 1ª) Que el cliente requiera una exactitud absoluta, lo cual es imposible.
- 2ª) Que al cliente no le importe la exactitud, por lo que el diseñador establecerá sus propios márgenes de error.

Con relación al dispositivo que se pretende desarrollar, se especificará la forma de onda, la frecuencia y amplitud de la señal, así como lo referente a la precisión.

### **2.1.1 Forma de onda**

Se deberán producir señales senoidales, triangulares, cuadradas y ondas pseudoaleatorias.

### **2.1.2 Frecuencia**

Se deberán tener dos opciones:

- a) Un reloj interno para producir frecuencias fijas de 2 KHz, 1 KHz, 500 Hz, 200Hz, 100 Hz, 50 Hz y 20 Hz.
- b) Una conexión para un reloj externo con el que se pueda ajustar en forma continua la frecuencia de la señal sintetizada hasta un máximo de 2 KHz.

### **2.1.3 Amplitud**

Señal continuamente ajustable desde 0.01 Vpp hasta 10 Vpp.

Salida desbalanceada, o sea, un punto de referencia a la tierra del circuito, y con una impedancia de salida de 8 Ohms.

### **2.1.4 Tolerancia**

Normalmente, el valor de un parámetro difiere del valor real por una

## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

cantidad variable que se llama tolerancia. La tolerancia de frecuencia depende de la fabricación del componente, del envejecimiento y de la temperatura de operación. De este modo pueden verse tolerancias de  $\pm 0.05\%/^{\circ}\text{C}/24\text{hr}$  o  $\pm 0.02\%/^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . En nuestro caso, no se va a dar una especificación tan rigurosa. Solo se establecerá una tolerancia de  $\pm 1\text{Hz}/1000\text{ Hz}$  de la señal producida, o sea,  $\pm 1 \times 100/1000 = \pm 0.1\%$  de tolerancia en la frecuencia.

No se consideran los efectos por temperatura ni envejecimiento.

Con respecto a la forma de onda, la tolerancia se debe enfocar de otra manera, pues aquí los factores que nos importan son la distorsión y el ruido.

La distorsión puede ser armónica y por intermodulación, y el ruido puede ser ruido rosa o ruido de cuantificación.

Las fórmulas para calcular estos parámetros son las siguientes:

$$\% \text{ D.A.} = (\text{Potencia de la fundamental}/\text{Potencia de todas las armónicas})100$$

Las condiciones para aplicar esta fórmula son:

- a) Las potencias se miden a la salida del amplificador o dispositivo.
- b) La entrada debe ser una senoide pura.

La distorsión armónica ocurre debido a que la alinealidad del amplificador hace que la senoide de entrada se multiplique por si misma, y esto ocasiona otra senoide del doble de frecuencia, o sea, una segunda armónica.

No hay fórmula para calcular la distorsión por intermodulación. Esta ocurre cuando a la entrada del amplificador se alimentan dos o más senoides puras. La alinealidad del circuito ocasiona que las senoides se multipliquen y esto produce otras senoides cuyas frecuencias son la suma y la diferencia de las frecuencias originales.

El ruido rosa suena como la lluvia o como la salida de agua de la regadera, y su potencia es:  $P_n = KTB$ , siendo  $K$  la constante de Boltzman;

T la temperatura Kelvin y B el ancho de banda considerado, que puede ser el correspondiente al sonido (de 20 a 20000 Hz).

El ruido de cuantificación se debe a que el convertidor digital analógico (DAC) no puede convertir a binario cualquier valor decimal que se le entregue; entonces lo trunca. Por ejemplo, el número  $\pi$  lo toma como 3.14000, y de esta forma el DAC no puede “inventar” los decimales truncados; los valores que entrega tienen un error inherente que está dado por la relación señal/ruido:

$$\text{SNR db} = 6.02R + 4.77 - 20\log(V/X_{\text{rms}})$$

donde: R son los bits/muestra del A/D.

V es el voltaje de pico de la señal.

$X_{\text{rms}}$  es el voltaje efectivo de la señal.

### 2.1.5 Precisión

Aunque más adelante se expondrá la razón de haber seleccionado el procedimiento de síntesis digital de ondas eléctricas, es conveniente mencionar aquí que una tabla de datos servirá para sintetizar la señal, la cual deberá tener como mínimo 256 valores de amplitud y 1024 valores de tiempo, y que de esta manera se definirá un ciclo de la señal deseada.

Considerando la amplitud antes mencionada de 10 Vpp, y que esta se dividirá en 256 valores, la mínima diferencia entre uno y otro será de 39 mV, que para fines académicos, es suficiente.

La especificación del párrafo anterior, implica que al realizar la sintetización con el instrumento a desarrollar, se deberá inicialmente producir el dibujo de un ciclo de la onda a generar, cuidando tener una amplitud de 10 Vpp, y enseguida determinar las coordenadas de 1024 puntos de la misma.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **2.2 Posibles soluciones**

Para sintetizar una forma de onda específica, se puede recurrir a diferentes procedimientos, como son:

### **2.2.1 Por suma de componentes senoidales**

Según la teoría de Fourier, cualquier onda periódica puede ser obtenida sumando un número suficiente de señales senoidales, cuyas frecuencias son múltiplos del recíproco del período de la onda que se quiere sintetizar.

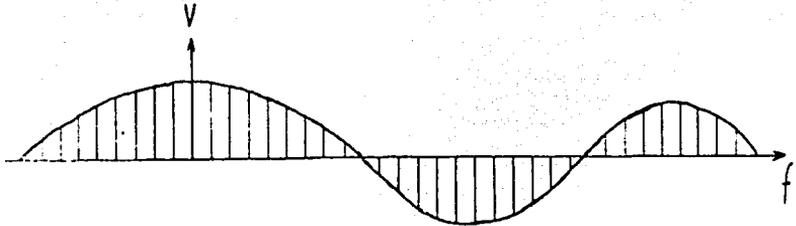
En un caso general, este procedimiento no se puede llevar a cabo con absoluta exactitud, pues para ello se requiere sumar un número enorme de senoides, sin embargo, se pueden especificar muchas formas de onda con pocas componentes espectrales que pueden ser sintetizadas con gran exactitud.

Cuando la señal que queremos producir tiene demasiadas componentes, se puede hacer un análisis matemático para determinar cuales se pueden despreciar, conservando el error debajo de un máximo permisible.

### **2.2.2 Filtrando una onda que contenga muchas componentes espectrales**

Este procedimiento requiere disponer de un tren de pulsos muy delgados, cuyo espectro va a ser una función Sinc muy alargada como la que se presenta a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### **Espectro de la función sinc muy alargada**

Expresando lo anterior con una ecuación, tenemos que:

$$H(\omega) = F(\omega)/G(\omega)$$

donde:  $H(\omega)$  es la función de transferencia del filtro.

$f(t)$  es la onda que deseamos sintetizar.

$F(\omega)$  es la transformada de Fourier de  $f(t)$ .

$G(\omega)$  es la transformada de Fourier de  $g(t)$ .

$g(t)$  son los pulsos que vamos a utilizar.

Y finalmente, debemos construir un filtro que tenga la función de transferencia arriba mencionada.

La desventaja principal de esta técnica, es la de que hay que implementar un filtro digital programable cuya función de transferencia se pueda ajustar a voluntad.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **2.2.3 Por deformación alineal de una onda senoidal**

Es bien sabido que los diodos y los transistores no responden en forma lineal a las señales alimentadas a ellos, o sea, que la corriente no es proporcional al voltaje. Sin embargo, esta propiedad puede ser utilizada para ocasionar ciertas deformaciones controladas a una senoide, haciéndola pasar ya sea en cascada o en paralelo, por diversos circuitos formados por resistencias, capacitores, diodos y transistores.

También esta técnica tiene la desventaja de que se requiere un circuito determinado para cada tipo de onda a generar, tal y como sucede con la sintetización por filtrado.

### **2.2.4 Por síntesis digital**

Con dispositivos digitales es factible producir señales analógicas; se entiende por señal analógica aquella que puede tener un número infinito de valores en un rango finito de voltajes. Para lograr este resultado, el procedimiento general consiste en grabar digitalmente en una memoria, las coordenadas  $[t, f(t)]$  de un número muy grande de puntos de la curva que se desea producir. Acto seguido se deberá leer repetitivamente la memoria, y haciendo una conversión digital-analógica (D/A) de los valores entregados por esta, para cada ciclo de lectura se obtendrá un período de la onda sintetizada.

Teniendo en cuenta que solo hay una forma de grabar y leer las memorias, las variantes del procedimiento anunciado están en como hacer llegar los datos a dicha memoria.

Una manera sencilla y elemental es con un teclado decimal y un generador de direcciones, para esto, el operador del instrumento debe tener tabuladas las coordenadas de los puntos de la onda, y las irá alimentando una

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

por una al dispositivo de almacenamiento. Para lograr este objetivo, se requiere intercalar entre el teclado y la memoria un convertidor decimal a binario.

Otra técnica de grabado consiste en disponer de una expresión matemática que defina un ciclo de la onda a generar; alimentamos esta ecuación a un dispositivo de cómputo para que haga la tabulación, y envíe al almacenamiento los pares de valores  $[t, f(t)]$  previamente convertidos a binario.

Un tercer procedimiento que podría emplearse, consiste en dibujar en un papel un ciclo de la onda pedida, y hacer que un sensor-robot siga la línea trazada. Simultáneamente, este sensor-robot transmitirá a una computadora las coordenadas de su posición, y de esta manera, la máquina hace las conversiones necesarias para almacenar adecuadamente los datos.

Una variante más pudiera ser el dibujo en una pantalla electrónica con una pluma de fieltro, de la onda que se quiere producir, y a continuación realizar un seguimiento de la figura con la pluma eléctrica de la máquina. Esta pluma tiene en su punta un foto-emisor, y la luz que se envía es percibida por los foto-detectores existentes en la pantalla. El foto-detector percibe la emisión luminosa de la pluma y transmite a la computadora las coordenadas de su posición, para que esta las almacene en la memoria.

Estas pocas opciones nos dan una idea de las muchas maneras en que se puede hacer llegar los datos al dispositivo de memoria.

Para el desarrollo del proyecto, se considera que la técnica de alimentar los datos punto por punto es la más adecuada, ya que, aunque es bastante laboriosa, ofrece una razonable precisión en los valores, es relativamente económica e ilustra convenientemente el proceso de síntesis digital, por lo que en el siguiente capítulo se tratará esta técnica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO III.**

### **DISEÑO DEL SINTETIZADOR**

#### **3.1 Descripción general**

Antes de iniciar el desarrollo de la parte medular de este capítulo, es conveniente dar una breve descripción de las secciones que componen el sintetizador, así como una exposición general de su funcionamiento.

El primer bloque del instrumento es un teclado que consta de catorce botones; diez para los números decimales y cuatro para funciones especiales. Los números son alimentados al sintetizador por medio del teclado y son inicialmente mostrados en exhibidores de siete segmentos.

Enseguida, los números son almacenados en una memoria, que dispone, junto con los exhibidores, de los circuitos adecuados que realizan las conversiones numéricas necesarias.

Los datos que se programan en la memoria son transferidos a un convertidor

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

digital-analógico(DAC), de manera que al leer una sola vez la totalidad de ellos, a la salida del DAC se obtiene un ciclo completo de la onda deseada. Si se quiere obtener una señal de dos o más períodos, solo hay que escoger el tiempo de barrido adecuado en la base de tiempos, la cual es detallada más adelante.

La salida del DAC entrega la onda contaminada con lo que se conoce como ruido de cuantificación, esto es debido a que en la memoria no pueden almacenarse todos los valores de amplitud de la onda ya que estos son analógicos, y lo que se guarda son valores discretos.

Para eliminar el inconveniente del ruido, se hace pasar la señal a través de un filtro paso-bajas(FPB), con lo que se obtiene ya una señal completamente analógica.

Un paso más del proceso consiste en hacer que el instrumento presente una impedancia de salida de 8 Ohms, para alimentar una carga exterior sin que el voltaje de la señal se vea seriamente afectado.

Por último, una fuente de alimentación es necesaria para suministrar a cada circuito los voltajes y corrientes indispensables para su buen funcionamiento, la cual deberá ser sin rizados de rectificación, ni ruido eléctrico.

El diagrama de bloques del sintetizador se presenta en la Fig. 3.1. En este se aprecian los principios fundamentales en los que se apoyará el diseño, objeto de esta tesis.

### **3.2 Entrada de datos**

El primer bloque del sintetizador está compuesto de catorce interruptores de lengüeta, que al ser pulsados cada uno de ellos transfieren la información requerida. Todos los interruptores conforman el teclado, y son utilizados como

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

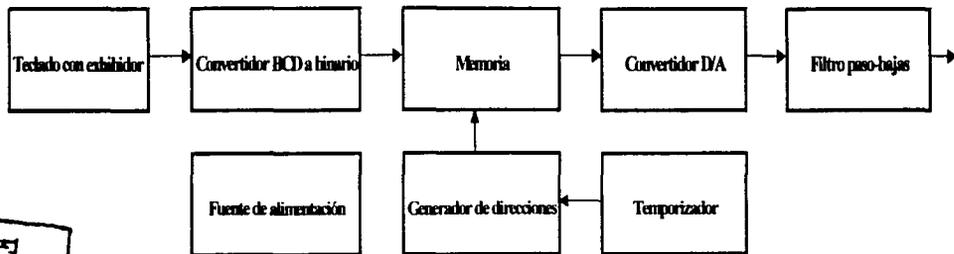
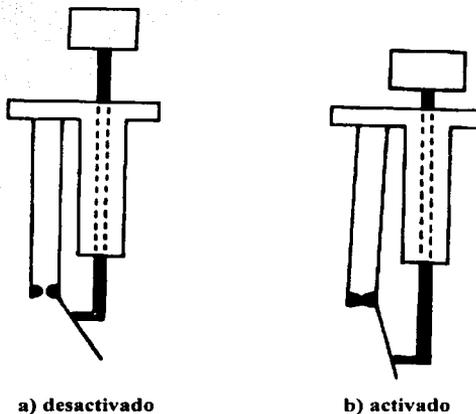


Fig. 3.1 Diagrama de bloques del sintetizador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

entrada de datos para programarlos adecuadamente. La Fig. 3.2 muestra el tipo de interruptor del que se hace mención, tanto en su posición de activado como en su posición de no activado. El conjunto del teclado habilita diez números decimales y las funciones de lectura y escritura, así como una secuencia de pulsos de reloj que será explicada en la sección siguiente.



**Fig. 3.2 Interruptor de lengüeta**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.3 Codificador decimal a decimal codificado en binario(BCD)

Los diez dígitos decimales referidos en el teclado son los que están conectados a la entrada de un codificador decimal a BCD, el cual entrega directamente en su salida el código BCD en cuatro líneas. Para esta función se utilizó el circuito integrado(CI) 74147, pero por no retener en su salida la información activada en su entrada, hubo necesidad de incorporar un arreglo de flip/flops(f/f). Estos f/f son del tipo "D" y el CI 74175 fue el escogido por adaptarse mejor al propósito. La tabla característica del f/f "D" es:

D	Q(t+1)
0	0
1	1

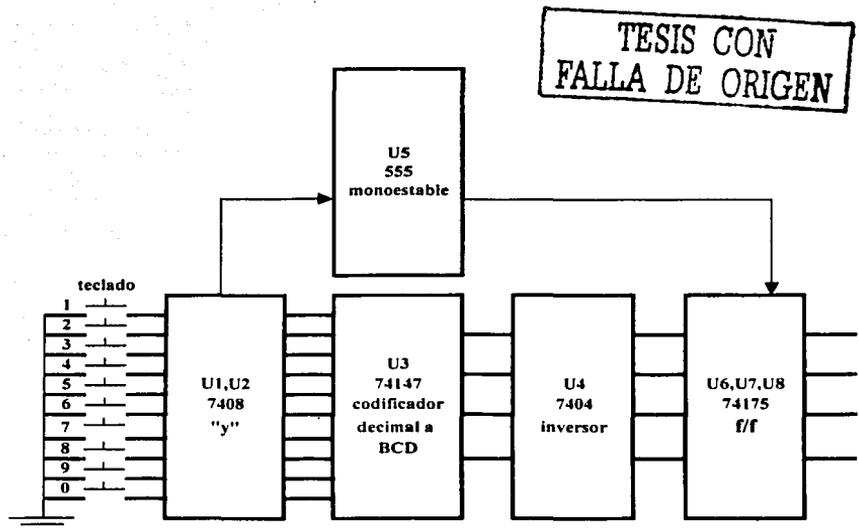
TABLA I

donde Q(t+1) es el estado siguiente.

La tabla I indica que la señal entrante al f/f, es la saliente después de aplicar un pulso de reloj, almacenándola hasta no recibir otro pulso. Desde luego, los pulsos de reloj deben provenir de alguna parte, y es, desde el teclado, como se generan estos. No se hizo mención en la entrada de datos por considerar que era mejor hacerlo en este inciso, pues dichos pulsos son aplicados a los f/f.

Para hacer del teclado una secuencia de disparos de reloj, se incluyó un circuito monoestable, es decir, un arreglo que al aplicarle un pulso descendente en su entrada, entrega en su salida un pulso ascendente de más duración, lo suficiente para no invalidar cada tecla oprimida, y para que los f/f retengan la información correcta. El CI 555 ayudó a concretar esta función la cual fue auxiliada con compuertas "Y". El diagrama del codificador, en una forma simplificada, se muestra en la Fig. 3.3, este incluye un f/f y al circuito monoestable.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig.3.3 Codificador decimal a BCD**

### **3.4 Decodificador BCD a siete segmentos**

Una vez que ha sido obtenido el BCD, el siguiente paso es convertir esta información en otra para exhibir el número oprimido. El CI 7446 se utilizó por ser un decodificador BCD a siete segmentos, con lo que se habrá de utilizar visualizadores de este tipo.

Este decodificador transforma cuatro líneas de BCD(en su entrada) a siete líneas es su salida, para exhibir el número decimal requerido. El diagrama del decodificador para exhibir un solo número se presenta en la Fig. 3.4.

### **3.5 Visualización de la información**

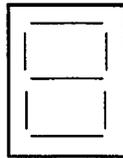
La información pulsada en el teclado es visualizada en exhibidores de siete segmentos. Un exhibidor es mostrado en la Fig. 3.5. Cualquier número tecleado del cero al nueve es observado en el exhibidor correspondiente, que para este caso se incorporaron tres del tipo de ánodo común.

El tamaño de estos fue escogido tomando en cuenta que se trata de un equipo de mesa. Cabe decir aquí, que son tres los exhibidores incluidos porque son los necesarios y suficientes para el sintetizador, pues abarca el rango completo de 8 bits que maneja este.

La Fig. 3.6 muestra el diagrama de todas las piezas mencionadas hasta aquí, en el cual puede observarse: el codificador decimal a BCD, cuatro inversores, tres *f/f*, tres decodificadores BCD a siete segmentos y los tres exhibidores.



**Fig. 3.4 Decodificador BCD a siete segmentos**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Fig. 3.5 Exhibidor de siete segmentos**

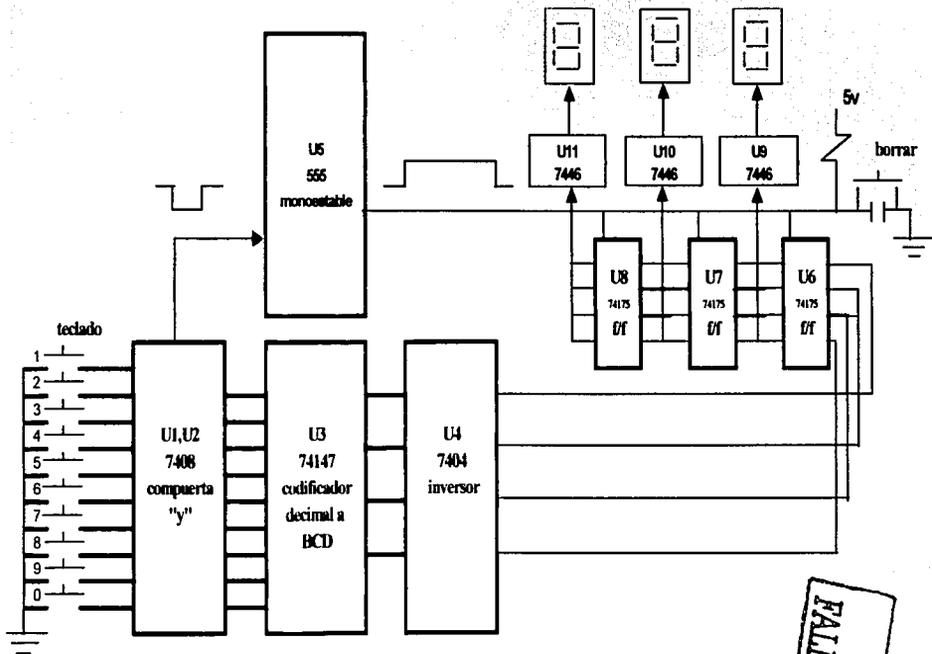


Fig. 3.6 Diagrama de una primera parte de componentes

TESIS CON  
 FALTA DE  
 ORIGEN

### 3.6 Convertidor BCD a binario

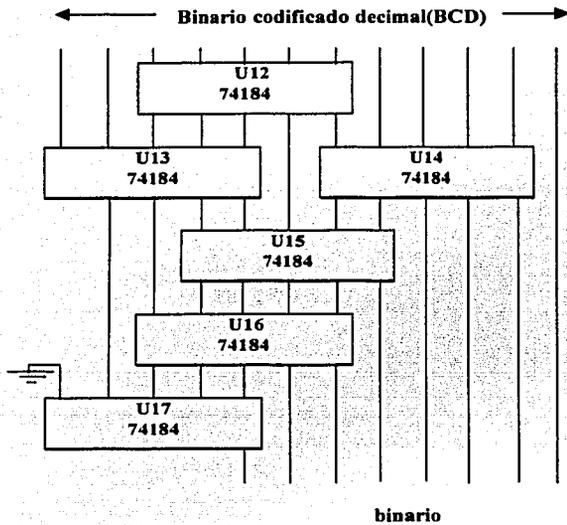
La justificación para incluir un convertidor de estas características, es debido a que en el circuito de memoria van a almacenarse los datos pulsados pero convertidos en código binario, los cuales serán utilizados como entrada de datos a un convertidor digital-analógico.

En la salida de U4 existe ya el BCD, entrando y saliendo por U6, U7 y U8, y entrando solamente en U9, U10 y U11(Fig. 3.6), de manera que a partir de estos C.I. puede realizarse la conversión BCD a binario.

En el Manual TTL para Ingenieros de diseño, se incluye un C.I. que en una forma sencilla realiza la conversión. Este C.I. es el 74184, y que interconectando seis apropiadamente se llega al resultado buscado. Cabe aclarar que el hecho de que sean seis obedece a que hay tres décadas de BCD.

El arreglo del convertidor se muestra en la Fig. 3.7, en donde puede observarse la interconexión que ofrece el Manual, y en el que cada C.I. ocupa el lugar que le corresponde, siendo cada rectángulo un 74184. Estos son representados por U12 a U17.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 3.7 Convertidor BCD a binario**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.7 Desarrollo del generador de direcciones**

La función que realiza el generador de direcciones es la de entregar una cuenta para avanzar una posición en la memoria, esto con el fin de programar las 1024 casillas que contiene.

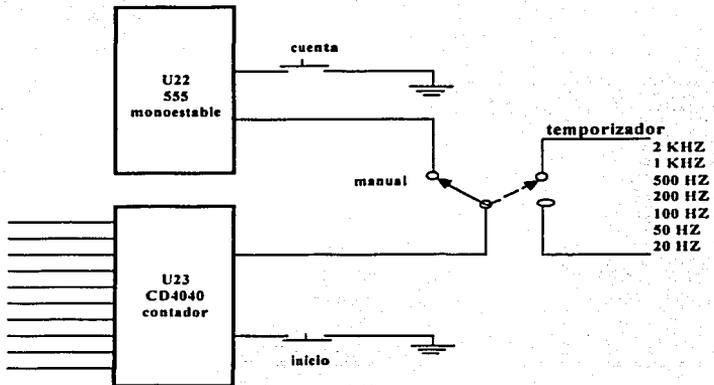
Para la configuración de esta parte del sintetizador se escogieron dos C.I.; un contador CD4040 y un 555.

El CD4040 fue seleccionado porque direcciona la totalidad de posiciones de la memoria. Claro que pueden realizarse diferentes arreglos de contadores para llegar al mismo resultado, pero por ser en este caso uno solo, se decidió incluirlo.

El 555 se aplicó porque puede configurarse un circuito monoestable, es decir, un arreglo que puede generar un pulso de reloj mediante un pulso descendente. Este viene siendo el mismo circuito aplicado en el codificador decimal a BCD.

El CD4040 y el 555 se acoplan para direccionar a la memoria en forma "manual", e ir almacenando la información del teclado en las posiciones requeridas.

El diagrama del generador de direcciones se presenta en la fig. 3.8., y está representado por U22 y U23.



**Fig. 3.8** Generador de direcciones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.8 Desarrollo del circuito de memoria

El circuito de memoria es habilitado por el teclado y por el generador de direcciones. Por uno, porque los datos pulsados son los que se van a almacenar, y por el otro, porque dichos datos deben quedar alojados en posiciones definidas.

Para este arreglo, se utilizaron dos memorias de acceso aleatorio(RAM) del C.I. 2114 y dos aisladores de tres estados del C.I. 74125. Estos vienen siendo U18, U19, U20, U21 de la fig. 3.9.

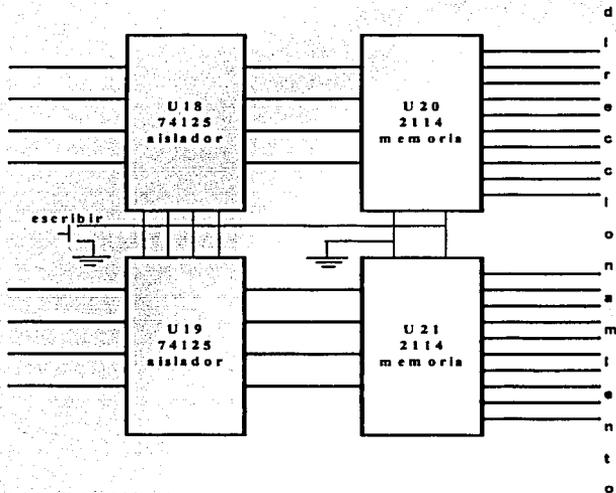


Fig. 3.9 Circuito de memoria

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.9 Convertidor digital analógico(DAC)

La memoria tiene mil veinticuatro posiciones y cada una de ellas puede almacenar ocho bits. Estos ocho bits son los que van a estacionarse de acuerdo al dato del teclado y según la posición que se marque en el generador de direcciones. Dicho de otro modo, la información que enviamos desde el teclado se convierte en código binario, y precisamente este, es alojado en los lugares mencionados.

Al "leer" lo almacenado en la memoria(oprimiendo el botón de "cuenta"), se extraen los datos en código binario, por lo que se hace necesario contar con un dispositivo que nos convierta cada una de estas señales digitales, en su equivalente analógico.

Para llevar a cabo lo anterior, se habilitó un convertidor digital-analógico(DAC), con lo que se resolvió el problema planteado.

El C.I. DAC0800 fue el escogido para tal propósito, y viene dado por U24 de la fig. 3.10.

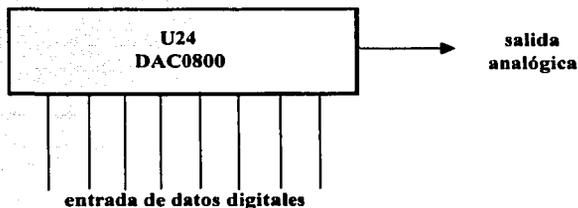


Fig. 3.10 Convertidor digital-analógico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.10 Desarrollo del filtro

#### Filtro de salida

La señal de salida del DAC corresponde a los valores binarios cuantificados y almacenados en la memoria. Este proceso de cuantificación implica recortar un poco la altura de la señal analógica para que su valor pueda ser codificado con ocho bits, ya que si quisiéramos codificar el valor exacto de la señal analógica tendríamos que usar un número infinito de bits. Por ejemplo, una altura de 75.8 unidades de voltaje se codificaría en binario como 1001011.11001....., en cambio, si se elimina la parte decimal, el 75 se puede codificar como: 1001011. Este proceso lo realiza el usuario del aparato cuando determina las coordenadas de los puntos de la curva, y como consecuencia de ello la señal de salida del DAC en vez de ser señal lisa, se presenta con pequeños escalones debido a la cuantificación hecha anteriormente, como puede apreciarse en la fig. 3.11.

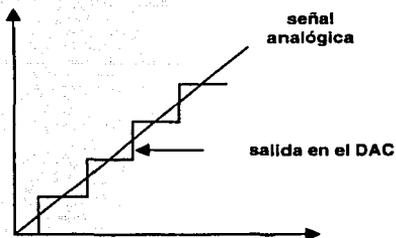


Fig. 3.11 Ruido de cuantificación

Dichos escaloncitos se conocen como ruido de cuantificación, que en algunas ocasiones se puede captar auditivamente como un leve zumbido muy agudo, y en video causa el efecto de cambio brusco en los tonos de gris de los elementos de la imagen.

Para eliminar el ruido de cuantificación se puede recurrir a la ayuda de un filtro paso-bajas, que deje pasar solamente la señal que se ha sintetizado.

El uso de este filtro implica varios problemas:

### **Primero**

La señal sintetizada no es una senoide pura, sino que contiene una cierta cantidad de componentes armónicas que pueden abarcar frecuencias superiores a las del ruido de cuantificación, de manera que si se quiere que el filtro deje pasar todas esas frecuencias, también pasará el ruido.

### **Segundo**

Cualquier filtro sencillo, ya sea activo o pasivo y aún los de orden superior, presentan una ganancia en la banda de paso que no es constante, por lo que atenuará algunas componentes armónicas más que a otras, lo cual se traduce en la llamada distorsión de frecuencia, que hace que la señal de salida del filtro sea de diferente forma que la señal de entrada.

### **Tercero**

Así como la ganancia del filtro no es constante en función de la frecuencia, también ocurre que la fase no es proporcional a la frecuencia, lo que implica que algunas componentes espectrales de la señal sintetizada tardan más tiempo que otras en pasar a través del filtro, originando que la señal de salida no tenga la misma forma que la señal de entrada. Esto se conoce como distorsión de retardo.

Por las tres razones anotadas anteriormente, parece más conveniente prescindir del filtro de salida que utilizarlo.

Si consideramos que diez armónicas son suficientes para representar a una onda con bastante precisión, y la frecuencia del ruido es la onceava armónica de la señal sintetizada, entonces la solución de compromiso es un filtro que tenga ganancia constante y fase proporcional a la frecuencia hasta la décima armónica de la señal producida.

Todos estos factores introducen una cierta cantidad de deformación en la onda:

- a) Error de truncamiento, el cual se origina por eliminar una parte de la amplitud de la onda.
- b) El recorte de frecuencia que ocurre por el filtro de salida.
- c) Distorsión de ganancia y distorsión de retardo, producidas por la respuesta en frecuencia no ideal del filtro.

### **3.11 Desarrollo del temporizador**

Un temporizador o base de tiempos, es un circuito que determina la velocidad a la cual se debe realizar un proceso.

En el caso del presente proyecto, el proceso que va ser controlado es la generación automática de direcciones para la memoria, a fin de que esta última pueda entregar los datos que guarda.

Las frecuencias de la base de tiempos estarán determinadas por las funciones que se ejecutarán en la memoria, que básicamente son dos:

- a) Lectura automática.
- b) Corrección de datos escritos con error.

Para el primer caso, hay que recordar que en las mil veinticuatro posiciones de la memoria, se almacena un ciclo de la onda que se va a generar, de manera que si por ejemplo queremos sintetizar una de 800 Hertz, la base de tiempos debe producir una frecuencia de  $800 \times 1024$  pulsos/seg.

En general, si la frecuencia de la señal es de A Hertz, la frecuencia de la base de tiempos será de:

$$F = 1024 A \text{ pulsos/seg.}$$

Lo anterior no excluye la posibilidad de que un operador pueda guardar dos o más ciclos de la señal en la memoria. Entonces, en general, si la frecuencia de la señal que se quiere producir es A, y el número de ciclos guardados en la memoria es B, la frecuencia de la base de tiempos será:

$$F = (1024)A/B \text{ Hertz}$$

Como punto de partida del diseño de la base de tiempos, se ha establecido que las frecuencias a sintetizar son las mencionadas en el inciso a) de 2.1.2, las cuales son: 2 KHz, 1 KHz, 500 Hz, 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz y 20 Hz.

Debido a que se usará el criterio de grabar en la memoria un ciclo de la onda, las frecuencias de diseño serán cada una de las que aparecen en el inciso a) de 2.1.2 por 1024.

Un breve análisis de las frecuencias anotadas anteriormente, nos permiten determinar que estas tienen un común múltiplo de 10 MHz, por lo que es necesario habilitar un cristal con esta frecuencia, sin embargo, en el laboratorio se disponía de un cristal de 10.5 MHz, y es este el que se usará definitivamente.

Lo anterior producirá que las frecuencias especificadas se alteren ligeramente, dando finalmente los siguientes valores: 2.1 KHz, 1.05KHz, 525Hz, y 210 Hz.

Para la segunda función que ejecutará la base de tiempos, se requieren unas velocidades relativamente bajas, y para ello se escogieron los valores que a continuación se mencionan, claro, teniendo en cuenta la alteración por usar el cristal de 10.5 MHz: 105 Hz, 52.5 Hz y 21 Hz.

Estos valores, aunque establecidos para otro propósito, pueden usarse también para generar señales de periodo muy grande.

El arreglo de la base de tiempos se observa en la fig. 3.12., y viene dado por U25 a U33, que incluye ocho C.I. 7490 y un C.I. 7473.

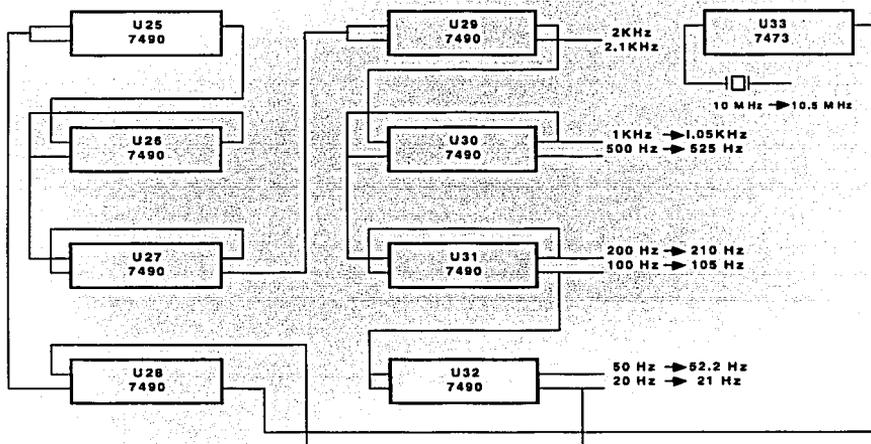


Fig. 3.12 Base de tiempos o Temporizador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.12 Fuente de alimentación

La fuente de poder es la sección que suministra la energía necesaria a cada elemento del sintetizador, para que opere adecuadamente.

Por los C.I. seleccionados para el aparato que se está desarrollando, se dedujo que los voltajes necesarios para el mismo son: +5, +15 y -15 volts. Los +15 y -15 volts alimentarán al C.I. U24(DAC) y los +5 volts a todos los componentes restantes del sintetizador.

Los C.I. adaptados para este propósito son el 7805 para producir +5 volts, el 7815 para +15 volts y el 7915 para -15 volts, los cuales van a ser alimentados por un puente rectificador que recibe C.A. de un transformador reductor.

El diagrama de la fuente de alimentación se presenta en la fig. 3.13., formado por U34 a U36.

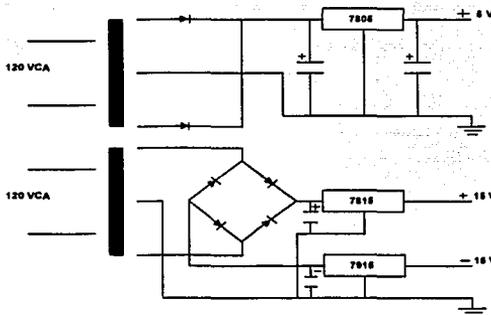


Fig. 3.13 Fuente de alimentación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.13 Diagrama general del sintetizador**

Para concluir, enseguida se presentará el diagrama completo del sintetizador, es decir, que se integrarán todos los componentes que se mencionaron a lo largo del presente capítulo.

Cada una de las secciones, desde la entrada de datos hasta la señal de salida del DAC, van a entrelazarse una por una, y a unirse, para llegar al objetivo trazado.

La fig. 3.14 representa el diagrama general del sintetizador.



## **CAPÍTULO IV.**

### **CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y AJUSTES**

#### **4.1 Construcción**

La construcción del instrumento se llevó a cabo haciendo un seguimiento de todos y cada uno de los componentes incluidos en su diagrama, esto con el objeto de estamparlos en un circuito impreso.

Para encontrar un circuito impreso, primero tiene que buscarse una configuración de dispositivos de acuerdo al mayor número de ventajas, es decir, que la interconexión de cada una de las piezas se realice de una manera sencilla y sin dificultades “geográficas” ni interferencias eléctricas.

Lo anterior no es fácil de realizar, sobre todo si no se tiene experiencia en el ramo.

Se pensó primero en hacerlo por partes, como por ejemplo, una tarjeta de circuito impreso para cada sección; esto no fue posible, pues involucraba mucho gasto y había que tener demasiada experiencia en esta tecnología.

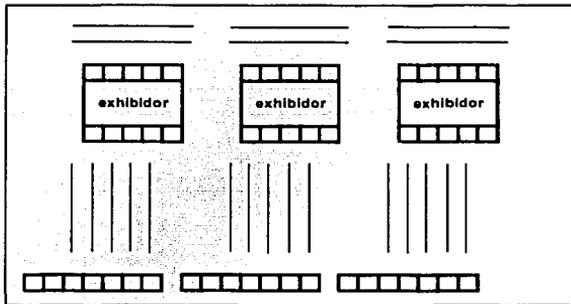
Luego se afirmó que podría realizarse en un solo impreso, lo cual fue rechazado inmediatamente, por nula experiencia en el ramo.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que con tres tarjetas quedaría el aparato adecuadamente, es decir, de un tamaño normal comparado con cualquier equipo de mesa. Estas tres tarjetas son: una para los exhibidores de siete segmentos; otra para el conjunto de la programación de datos, y una más para la base de tiempos.

Cabe decir aquí que para la fuente de alimentación se utilizaron terminales múltiples.

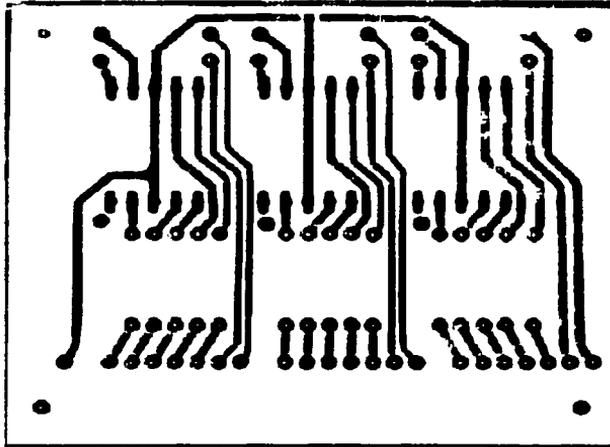
Expresado lo anterior, la configuración de componentes de los exhibidores se realizó según la fig. 4.1. Esta fue sencilla de concretar, pues solo se incluyen tres visualizadores y siete resistencias para cada uno.

El circuito impreso diseñado para los exhibidores es el que se presenta en la fig. 4.2, que como puede observarse, no es complicado.



**Fig. 4.1 Configuración de los exhibidores**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 4.2 Circuito impreso para los exhibidores**

Continuando con la tarjeta de programación de datos, el arreglo de componentes lo muestra la fig. 4.3, en la cual si se presentaron algunos problemas, pues hubo necesidad de incluir una serie de "puentes" o conexiones con unión de conductores.

Un lado del circuito impreso de dicha tarjeta de programación de datos se muestra en la fig. 4.4., y los "puentes" necesarios para complementarla se representan en la fig.4.5.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

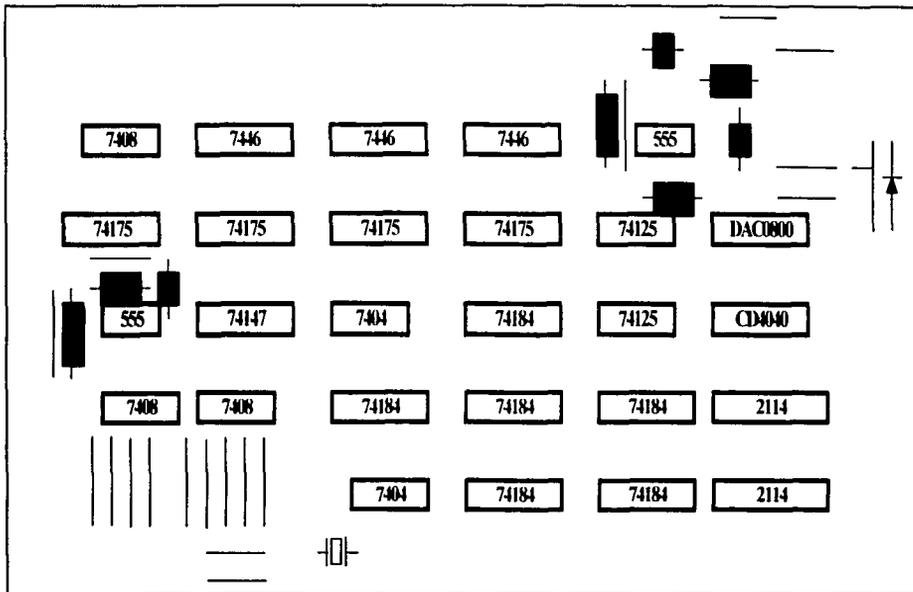


Fig. 4.3 Arreglo de componentes de la tarjeta de programación de datos

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

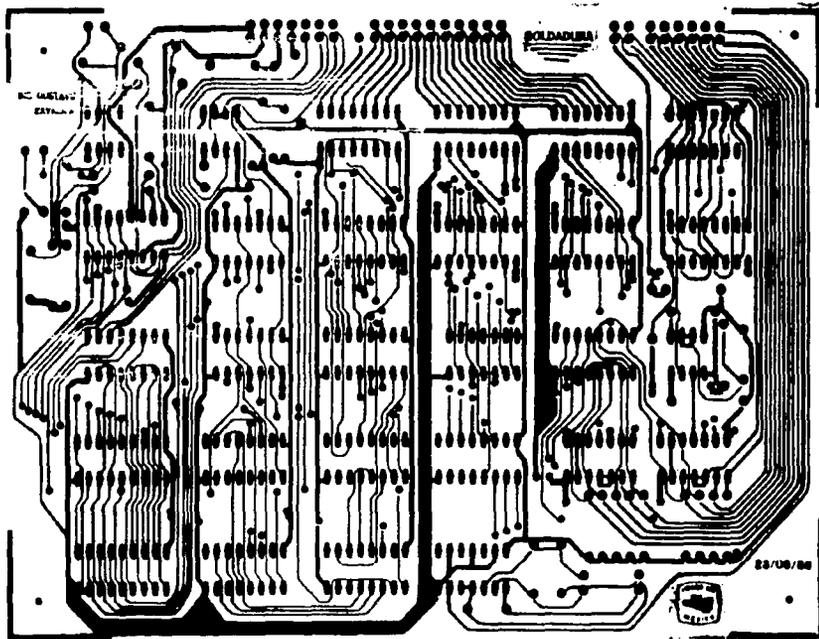


Fig. 4.4 Circuito impreso de la tarjet de programación de datos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

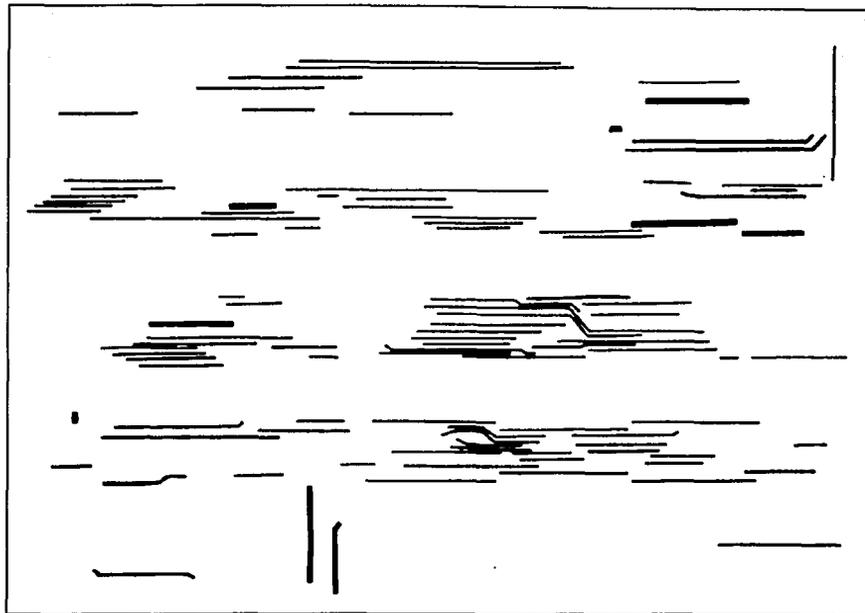
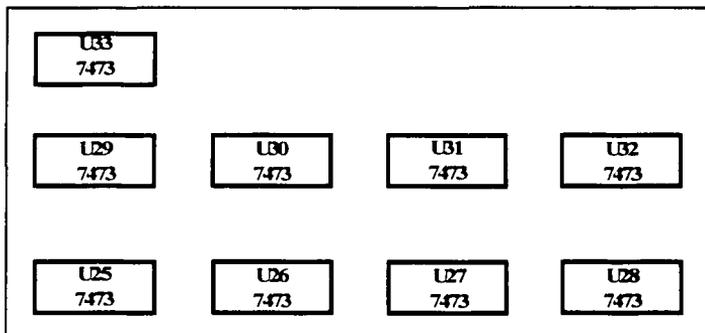


Fig. 4.5 Circuito impreso de conexión complementaria

Para la base de tiempos, la conformación de dispositivos se hizo de acuerdo a la fig. 4.6, en la que se observa que la simetría de los C.I. ayudó a dicha conformación. En esta se incluye también un C.I. para dividir entre dos la frecuencia del oscilador de cristal.

La tarjeta de circuito impreso de la base de tiempos, es representada por la fig. 4.7, esta también fue sencilla de realizar en la práctica, pues incluye ocho C.I. con el mismo número de parte.



**Fig. 4.6 Configuración de componentes de la base de tiempos**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

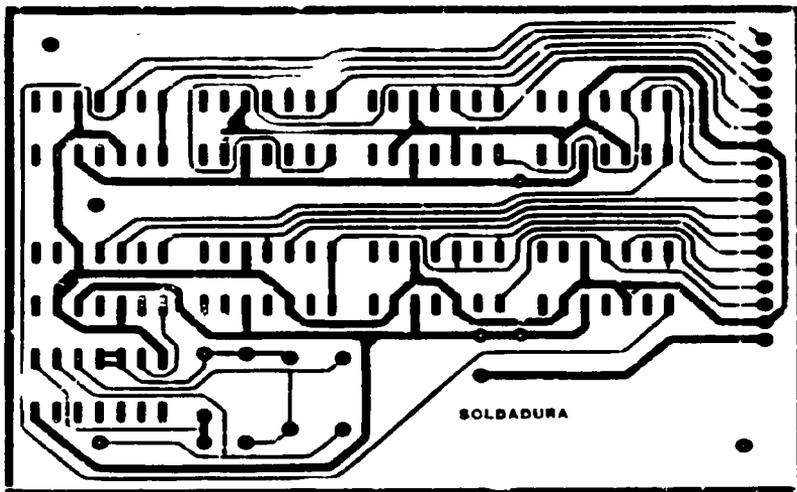
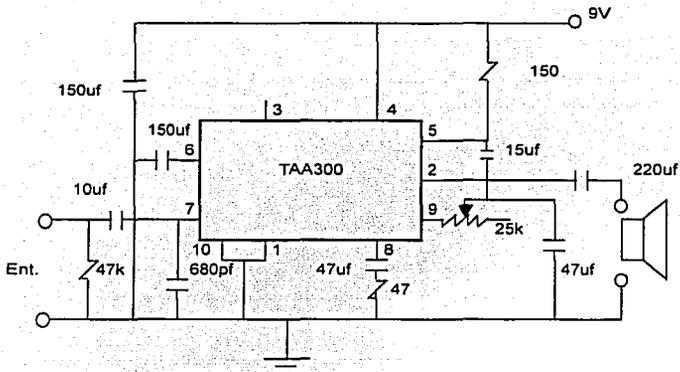


Fig. 4.7 Circuito impreso de la base de tiempos o temporizador

También, hay que mencionar que se incluirá un amplificador como accesorio del sintetizador. Este no es parte del mismo, pero se incluye porque sirve para amplificar la señal que se programe. La fig. 4.8 muestra su diagrama de conexiones.

La fuente de alimentación se armó, según el diagrama presentado en el capítulo anterior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 4.8 Amplificador de señales**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 4.2 Pruebas y ajustes

Cualquier aparato que se diga que funciona bien, por lo menos debe pasar las pruebas para las que fue diseñado. El presente dispositivo es creado para sintetizar ondas arbitrarias, es decir, para producir señales senoidales, triangulares, cuadradas y pseudoaleatorias como se mencionó en el inciso 2.1.1.

También se afirmó en el procedimiento de síntesis digital (inciso 2.2.4), que con dispositivos digitales es posible producir señales analógicas, grabando las coordenadas  $[t, f(t)]$  de un número muy grande de puntos de una curva.

Por lo tanto, las pruebas que demostrarían que el sintetizador trabaja adecuadamente, son las de realizar una tabulación para cada señal que se desea sintetizar.

Para el presente trabajo se van a producir tres ejemplos de sintetización de señales, esto tanto para demostrar que si realiza la función para la que fue creado el sintetizador, como para ilustrar la técnica de síntesis digital planteada anteriormente.

Sobre los tres ejemplos mencionados, van a tabularse las señales cuadrada, la vocal "A" y la vocal "I".

Los ajustes que se requieren, no son precisamente del sintetizador, sino que son los que se relacionan con las tabulaciones, en el sentido de ajustar las coordenadas horizontal y vertical para deducir donde quedará el punto "origen".

Antes de realizar las tabulaciones de las letras mencionadas, se van a exponer una serie de pasos para explicar la forma como se opera el sintetizador:

- 1) Inicialmente el "interruptor de selección" es llevado a la función "manual", y enseguida se oprime el botón de "comienzo" para iniciar la cuenta desde la posición "cero" de la memoria; este es un interruptor "normalmente cerrado".

- 2) Se pulsa un dato en el teclado, y con el botón de "escribir", se graba este dato en la posición "cero".
- 3) Se presiona el botón de "cuenta", y esto hace avanzar a la posición "uno" de la memoria.
- 4) Se tecldea el siguiente dato y se oprime el botón de "escribir"; este dato quedó grabado en la posición "uno".
- 5) El proceso se repite continuamente como se explica en los cuatro primeros incisos, y una vez que llegamos a la posición mil veintitrés, la memoria quedará totalmente grabada.
- 6) Después de terminar de grabar la memoria, pasamos el "interruptor de selección" a cada una de las frecuencias que maneja el temporizador, tomando la que más se adapte para producir un ciclo de la señal.
- 7) Si al "barrer" todas las posiciones de la memoria, se encuentra algún error, hay que observar en que posición se encuentra, y una vez localizada se toma nota.
- 8) Se pasa el "interruptor de selección" a "manual" si el error está en las primeras posiciones y oprimimos el botón de "cuenta" hasta llegar a la posición con error. Introducimos el dato y oprimimos "escribir".
- 9) Si el error se encuentra entre las posiciones a mitad de la memoria o en las últimas, entonces hay que escoger una frecuencia baja del temporizador para recorrer poco a poco las posiciones, esto hasta llegar a la que tiene el error. Si es necesario pase el "interruptor de selección" a "manual" antes de llegar a esta, y continúe avanzando con el botón de "cuenta".
- 10) Introducimos el dato y oprimimos "escribir".

TABLA DE COORDENADAS DE LA ONDA CUADRADA

t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)
0	255	65	255	130	255	195	255	260	255	325	255	390	255	455	255	520	0	585	0
1	255	66	255	131	255	196	255	261	255	326	255	391	255	456	255	521	0	586	0
2	255	67	255	132	255	197	255	262	255	327	255	392	255	457	255	522	0	587	0
3	255	68	255	133	255	198	255	263	255	328	255	393	255	458	255	523	0	588	0
4	255	69	255	134	255	199	255	264	255	329	255	394	255	459	255	524	0	589	0
5	255	70	255	135	255	200	255	265	255	330	255	395	255	460	255	525	0	590	0
6	255	71	255	136	255	201	255	266	255	331	255	396	255	461	255	526	0	591	0
7	255	72	255	137	255	202	255	267	255	332	255	397	255	462	255	527	0	592	0
8	255	73	255	138	255	203	255	268	255	333	255	398	255	463	255	528	0	593	0
9	255	74	255	139	255	204	255	269	255	334	255	399	255	464	255	529	0	594	0
10	255	75	255	140	255	205	255	270	255	335	255	400	255	465	255	530	0	595	0
11	255	76	255	141	255	206	255	271	255	336	255	401	255	466	255	531	0	596	0
12	255	77	255	142	255	207	255	272	255	337	255	402	255	467	255	532	0	597	0
13	255	78	255	143	255	208	255	273	255	338	255	403	255	468	255	533	0	598	0
14	255	79	255	144	255	209	255	274	255	339	255	404	255	469	255	534	0	599	0
15	255	80	255	145	255	210	255	275	255	340	255	405	255	470	255	535	0	600	0
16	255	81	255	146	255	211	255	276	255	341	255	406	255	471	255	536	0	601	0
17	255	82	255	147	255	212	255	277	255	342	255	407	255	472	255	537	0	602	0
18	255	83	255	148	255	213	255	278	255	343	255	408	255	473	255	538	0	603	0
19	255	84	255	149	255	214	255	279	255	344	255	409	255	474	255	539	0	604	0
20	255	85	255	150	255	215	255	280	255	345	255	410	255	475	255	540	0	605	0
21	255	86	255	151	255	216	255	281	255	346	255	411	255	476	255	541	0	606	0
22	255	87	255	152	255	217	255	282	255	347	255	412	255	477	255	542	0	607	0
23	255	88	255	153	255	218	255	283	255	348	255	413	255	478	255	543	0	608	0
24	255	89	255	154	255	219	255	284	255	349	255	414	255	479	255	544	0	609	0
25	255	90	255	155	255	220	255	285	255	350	255	415	255	480	255	545	0	610	0
26	255	91	255	156	255	221	255	286	255	351	255	416	255	481	255	546	0	611	0
27	255	92	255	157	255	222	255	287	255	352	255	417	255	482	255	547	0	612	0
28	255	93	255	158	255	223	255	288	255	353	255	418	255	483	255	548	0	613	0
29	255	94	255	159	255	224	255	289	255	354	255	419	255	484	255	549	0	614	0
30	255	95	255	160	255	225	255	290	255	355	255	420	255	485	255	550	0	615	0
31	255	96	255	161	255	226	255	291	255	356	255	421	255	486	255	551	0	616	0
32	255	97	255	162	255	227	255	292	255	357	255	422	255	487	255	552	0	617	0
33	255	98	255	163	255	228	255	293	255	358	255	423	255	488	255	553	0	618	0
34	255	99	255	164	255	229	255	294	255	359	255	424	255	489	255	554	0	619	0
35	255	100	255	165	255	230	255	295	255	360	255	425	255	490	255	555	0	620	0
36	255	101	255	166	255	231	255	296	255	361	255	426	255	491	255	556	0	621	0
37	255	102	255	167	255	232	255	297	255	362	255	427	255	492	255	557	0	622	0
38	255	103	255	168	255	233	255	298	255	363	255	428	255	493	255	558	0	623	0
39	255	104	255	169	255	234	255	299	255	364	255	429	255	494	255	559	0	624	0
40	255	105	255	170	255	235	255	300	255	365	255	430	255	495	255	560	0	625	0
41	255	106	255	171	255	236	255	301	255	366	255	431	255	496	255	561	0	626	0
42	255	107	255	172	255	237	255	302	255	367	255	432	255	497	255	562	0	627	0
43	255	108	255	173	255	238	255	303	255	368	255	433	255	498	255	563	0	628	0
44	255	109	255	174	255	239	255	304	255	369	255	434	255	499	255	564	0	629	0
45	255	110	255	175	255	240	255	305	255	370	255	435	255	500	255	565	0	630	0
46	255	111	255	176	255	241	255	306	255	371	255	436	255	501	255	566	0	631	0
47	255	112	255	177	255	242	255	307	255	372	255	437	255	502	255	567	0	632	0
48	255	113	255	178	255	243	255	308	255	373	255	438	255	503	255	568	0	633	0
49	255	114	255	179	255	244	255	309	255	374	255	439	255	504	255	569	0	634	0
50	255	115	255	180	255	245	255	310	255	375	255	440	255	505	255	570	0	635	0
51	255	116	255	181	255	246	255	311	255	376	255	441	255	506	255	571	0	636	0
52	255	117	255	182	255	247	255	312	255	377	255	442	255	507	255	572	0	637	0
53	255	118	255	183	255	248	255	313	255	378	255	443	255	508	255	573	0	638	0
54	255	119	255	184	255	249	255	314	255	379	255	444	255	509	255	574	0	639	0
55	255	120	255	185	255	250	255	315	255	380	255	445	255	510	255	575	0	640	0
56	255	121	255	186	255	251	255	316	255	381	255	446	255	511	255	576	0	641	0
57	255	122	255	187	255	252	255	317	255	382	255	447	255	512	0	577	0	642	0
58	255	123	255	188	255	253	255	318	255	383	255	448	255	513	0	578	0	643	0
59	255	124	255	189	255	254	255	319	255	384	255	449	255	514	0	579	0	644	0
60	255	125	255	190	255	255	255	320	255	385	255	450	255	515	0	580	0	645	0
61	255	126	255	191	255	256	255	321	255	386	255	451	255	516	0	581	0	646	0
62	255	127	255	192	255	257	255	322	255	387	255	452	255	517	0	582	0	647	0
63	255	128	255	193	255	258	255	323	255	388	255	453	255	518	0	583	0	648	0
64	255	129	255	194	255	259	255	324	255	389	255	454	255	519	0	584	0	649	0

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

TABLA DE COORDENADAS DE LA ONDA CUADRADA

t	f(t)										
650	0	715	0	780	0	845	0	910	0	975	0
651	0	716	0	781	0	846	0	911	0	976	0
652	0	717	0	782	0	847	0	912	0	977	0
653	0	718	0	783	0	848	0	913	0	978	0
654	0	719	0	784	0	849	0	914	0	979	0
655	0	720	0	785	0	850	0	915	0	980	0
656	0	721	0	786	0	851	0	916	0	981	0
657	0	722	0	787	0	852	0	917	0	982	0
658	0	723	0	788	0	853	0	918	0	983	0
659	0	724	0	789	0	854	0	919	0	984	0
660	0	725	0	790	0	855	0	920	0	985	0
661	0	726	0	791	0	856	0	921	0	986	0
662	0	727	0	792	0	857	0	922	0	987	0
663	0	728	0	793	0	858	0	923	0	988	0
664	0	729	0	794	0	859	0	924	0	989	0
665	0	730	0	795	0	860	0	925	0	990	0
666	0	731	0	796	0	861	0	926	0	991	0
667	0	732	0	797	0	862	0	927	0	992	0
668	0	733	0	798	0	863	0	928	0	993	0
669	0	734	0	799	0	864	0	929	0	994	0
670	0	735	0	800	0	865	0	930	0	995	0
671	0	736	0	801	0	866	0	931	0	996	0
672	0	737	0	802	0	867	0	932	0	997	0
673	0	738	0	803	0	868	0	933	0	998	0
674	0	739	0	804	0	869	0	934	0	999	0
675	0	740	0	805	0	870	0	935	0	1000	0
676	0	741	0	806	0	871	0	936	0	1001	0
677	0	742	0	807	0	872	0	937	0	1002	0
678	0	743	0	808	0	873	0	938	0	1003	0
679	0	744	0	809	0	874	0	939	0	1004	0
680	0	745	0	810	0	875	0	940	0	1005	0
681	0	746	0	811	0	876	0	941	0	1006	0
682	0	747	0	812	0	877	0	942	0	1007	0
683	0	748	0	813	0	878	0	943	0	1008	0
684	0	749	0	814	0	879	0	944	0	1009	0
685	0	750	0	815	0	880	0	945	0	1010	0
686	0	751	0	816	0	881	0	946	0	1011	0
687	0	752	0	817	0	882	0	947	0	1012	0
688	0	753	0	818	0	883	0	948	0	1013	0
689	0	754	0	819	0	884	0	949	0	1014	0
690	0	755	0	820	0	885	0	950	0	1015	0
691	0	756	0	821	0	886	0	951	0	1016	0
692	0	757	0	822	0	887	0	952	0	1017	0
693	0	758	0	823	0	888	0	953	0	1018	0
694	0	759	0	824	0	889	0	954	0	1019	0
695	0	760	0	825	0	890	0	955	0	1020	0
696	0	761	0	826	0	891	0	956	0	1021	0
697	0	762	0	827	0	892	0	957	0	1022	0
698	0	763	0	828	0	893	0	958	0	1023	0
699	0	764	0	829	0	894	0	959	0		
700	0	765	0	830	0	895	0	960	0		
701	0	766	0	831	0	896	0	961	0		
702	0	767	0	832	0	897	0	962	0		
703	0	768	0	833	0	898	0	963	0		
704	0	769	0	834	0	899	0	964	0		
705	0	770	0	835	0	900	0	965	0		
706	0	771	0	836	0	901	0	966	0		
707	0	772	0	837	0	902	0	967	0		
708	0	773	0	838	0	903	0	968	0		
709	0	774	0	839	0	904	0	969	0		
710	0	775	0	840	0	905	0	970	0		
711	0	776	0	841	0	906	0	971	0		
712	0	777	0	842	0	907	0	972	0		
713	0	778	0	843	0	908	0	973	0		
714	0	779	0	844	0	909	0	974	0		

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA DE COORDENADAS DE LA VOCAL "A"

t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)	t	f(t)
0	58	65	139	130	63	195	161	260	37	325	64	390	183	455	59	520	188	585	139
1	59	66	139	131	64	196	160	261	35	326	65	391	182	456	60	521	189	586	137
2	59	67	139	132	65	197	158	262	33	327	71	392	181	457	60	522	190	587	135
3	60	68	139	133	65	197	157	263	31	328	74	393	180	458	61	523	191	588	133
4	61	69	138	134	66	199	156	264	29	329	75	394	179	459	62	522	192	589	130
5	62	70	138	135	67	200	154	265	26	330	80	395	178	460	63	525	193	590	128
6	63	71	137	136	69	201	153	266	24	331	83	396	177	461	64	526	194	591	126
7	64	72	137	137	70	202	151	267	22	332	85	397	176	462	65	527	195	592	124
8	65	73	136	138	72	203	150	268	20	333	85	398	175	463	66	528	195	593	121
9	66	74	135	139	73	204	148	269	18	334	88	399	173	464	68	529	196	594	119
10	67	75	134	140	73	205	147	270	16	335	90	400	172	465	70	530	197	595	116
11	68	76	132	141	75	206	145	271	14	336	92	401	171	466	72	531	197	596	114
12	69	77	131	142	80	207	143	272	12	337	94	402	170	467	74	532	198	597	112
13	70	78	130	143	83	208	141	273	11	338	97	403	169	468	76	533	198	598	110
14	71	79	128	144	86	209	139	274	9	339	100	404	168	469	78	534	199	599	107
15	72	80	126	145	88	210	137	275	8	340	104	405	166	470	81	535	199	600	105
16	74	81	125	146	91	211	136	276	8	341	106	406	165	471	84	536	200	601	103
17	75	82	123	147	94	212	134	277	5	342	109	407	163	472	86	537	200	602	100
18	76	83	122	148	97	213	132	278	5	343	112	408	162	473	88	538	201	603	98
19	78	84	120	149	100	214	130	279	4	344	115	409	159	474	91	539	201	604	95
20	79	85	118	150	102	215	129	280	3	345	118	410	157	475	94	540	201	605	94
21	80	86	116	151	106	216	127	281	2	346	120	411	155	476	96	541	201	606	91
22	82	87	114	152	110	217	125	282	2	347	122	412	152	477	98	542	201	607	88
23	84	88	112	153	114	218	123	283	1	348	126	413	150	478	100	543	200	608	86
24	86	89	110	154	116	219	122	284	1	349	129	414	148	479	103	544	200	609	84
25	88	90	108	155	120	220	120	285	1	350	132	415	147	480	105	545	199	610	81
26	89	91	106	156	123	221	118	286	0	351	134	416	144	481	107	546	199	611	78
27	91	92	104	157	126	222	115	287	0	352	137	417	142	482	110	547	198	612	76
28	93	93	105	158	129	223	114	288	0	353	140	418	140	483	112	548	198	613	74
29	96	94	105	159	132	224	112	289	0	354	142	419	137	484	114	549	197	614	72
30	97	95	104	160	134	225	110	290	0	355	144	420	134	485	116	550	197	615	70
31	98	96	102	161	136	226	108	291	1	356	148	421	132	486	119	551	196	616	68
32	101	97	101	162	140	227	106	292	1	357	150	422	129	487	121	552	195	617	66
33	103	98	99	163	144	228	104	293	2	358	152	423	126	488	124	553	195	618	65
34	104	99	98	164	146	229	102	294	2	359	155	424	122	489	126	554	194	619	64
35	106	100	96	165	148	230	100	295	2	360	157	425	120	490	128	555	193	620	64
36	108	101	94	166	150	231	98	296	4	361	159	426	118	491	130	556	192	621	63
37	110	102	92	167	154	232	96	297	4	362	162	427	115	492	133	557	191	622	63
38	112	103	90	168	156	233	95	298	5	363	163	428	112	493	135	558	190	623	63
39	114	104	90	169	158	234	93	299	5	364	165	429	109	494	137	559	189	624	63
40	116	105	87	170	160	235	91	300	6	365	166	430	106	495	139	560	188	625	63
41	118	106	86	171	162	236	89	301	8	366	168	431	104	496	141	561	187	626	63
42	120	107	84	172	164	237	87	302	9	367	169	432	100	497	144	562	186	627	64
43	122	108	82	173	165	238	85	303	11	368	170	433	97	498	146	563	184	628	64
44	123	109	81	174	167	239	83	304	12	369	171	434	94	499	148	564	182	629	65
45	125	110	79	175	168	240	80	305	14	370	172	435	92	500	150	565	181	630	66
46	126	111	77	176	168	241	78	306	16	371	173	436	90	501	153	566	178	631	68
47	128	112	76	177	169	242	76	307	19	372	175	437	88	502	154	567	177	632	69
48	130	113	74	178	170	243	74	308	22	373	176	438	85	503	156	568	175	633	71
49	131	114	73	179	170	244	72	309	24	374	177	439	85	504	158	569	173	634	73
50	132	115	72	180	170	245	70	310	26	375	178	440	83	505	161	570	171	635	75
51	134	116	71	181	171	246	68	311	30	376	179	441	80	506	163	571	169	636	77
52	135	117	70	182	171	247	66	312	31	377	180	442	76	507	165	572	167	637	80
53	136	118	68	183	171	248	64	313	34	378	181	443	74	508	167	573	165	638	83
54	137	119	67	184	171	249	61	314	36	379	182	444	71	509	169	574	163	639	85
55	137	120	67	185	171	250	60	315	38	380	183	445	66	510	171	575	161	640	88
56	138	121	66	186	170	251	56	316	41	381	184	446	64	511	173	576	158	641	91
57	138	122	65	187	170	252	55	317	43	382	184	447	61	512	175	577	156	642	94
58	139	123	64	188	169	253	52	318	45	383	184	448	59	513	177	578	154	643	97
59	139	124	63	189	168	254	50	319	48	384	185	449	58	514	178	579	153	644	100
60	139	125	63	190	167	255	48	320	50	385	185	450	58	515	181	580	150	645	103
61	139	126	63	191	166	256	46	321	52	386	185	451	58	516	182	581	148	646	106
62	140	127	63	192	165	257	44	322	56	387	184	452	58	517	184	582	146	647	109
63	140	128	63	193	164	258	42	323	59	388	184	453	58	518	185	583	144	648	112
64	140	129	63	194	163	259	40	324	61	389	184	454	59	519	187	584	141	649	115

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA DE COORDENADAS DE LA VOCAL "A"

t	f(t)	t	f(t)								
650	119	715	254	780	125	845	94	910	243	975	138
651	122	716	254	781	122	846	97	911	244	976	136
652	125	717	254	782	119	847	100	912	244	977	134
653	128	718	253	783	115	848	102	913	244	978	132
654	132	719	253	784	112	849	104	914	245	979	130
655	136	720	252	785	109	850	108	915	245	980	128
656	140	721	251	786	107	851	110	916	245	981	126
657	143	722	251	787	105	852	113	917	245	982	124
658	147	723	250	788	103	853	116	918	245	983	122
659	149	724	249	789	102	854	119	919	245	984	120
660	154	725	248	790	102	855	122	920	245	985	118
661	157	726	247	791	100	856	124	921	245	986	116
662	160	727	246	792	99	857	126	922	244	987	114
663	164	728	245	793	96	858	128	923	244	988	111
664	167	729	244	794	94	859	132	924	243	989	109
665	171	730	243	795	92	860	134	925	242	990	107
666	173	731	242	796	90	861	136	926	241	991	105
667	176	732	240	797	88	862	139	927	240	992	103
668	180	733	239	798	86	863	142	928	239	993	101
669	183	734	238	799	85	864	144	929	238	994	99
670	187	735	236	800	84	865	147	930	237	995	97
671	190	736	234	801	83	866	150	931	236	996	95
672	194	737	233	802	81	867	152	932	234	997	92
673	197	738	235	803	80	868	156	933	233	998	89
674	200	739	234	804	78	869	158	934	231	999	87
675	203	740	232	805	77	870	161	935	229	1000	85
676	206	741	228	806	76	871	164	936	227	1001	83
677	208	742	226	807	75	872	167	937	226	1002	81
678	211	743	224	808	74	873	170	938	223	1003	79
679	214	744	222	809	73	874	173	939	222	1004	77
680	216	745	220	810	72	875	176	940	220	1005	75
681	218	746	219	811	71	876	178	941	218	1006	73
682	221	747	218	812	70	877	180	942	216	1007	72
683	224	748	216	813	69	878	184	943	214	1008	70
684	227	749	214	814	69	879	186	944	213	1009	69
685	229	750	211	815	68	880	190	945	211	1010	68
686	231	751	208	816	68	881	192	946	209	1011	67
687	233	752	206	817	67	882	196	947	207	1012	66
688	234	753	203	818	67	883	198	948	204	1013	65
689	236	754	202	819	66	884	201	949	202	1014	64
690	238	755	200	820	66	885	204	950	200	1015	63
691	239	756	198	821	66	886	206	951	198	1016	62
692	240	757	195	822	66	887	208	952	195	1017	61
693	241	758	191	823	66	888	211	953	192	1018	60
694	243	759	188	824	66	889	212	954	190	1019	59
695	244	760	184	825	66	890	215	955	188	1020	59
696	245	761	181	826	67	891	217	956	186	1021	59
697	246	762	177	827	67	892	219	957	183	1022	58
698	247	763	174	828	68	893	220	958	180	1023	58
699	248	764	172	829	69	894	222	959	178		
700	249	765	168	830	69	895	224	960	175		
701	250	766	165	831	70	896	226	961	172		
702	251	767	161	832	71	897	227	962	170		
703	251	768	158	833	72	898	229	963	166		
704	252	769	155	834	73	899	230	964	164		
705	253	770	150	835	74	900	232	965	162		
706	253	771	148	836	75	901	233	966	159		
707	254	772	147	837	76	902	234	967	156		
708	254	773	146	838	77	903	236	968	154		
709	254	774	145	839	79	904	237	969	151		
710	254	775	144	840	82	905	238	970	149		
711	255	776	140	841	84	906	239	971	146		
712	255	777	136	842	86	907	240	972	144		
713	255	778	132	843	88	908	241	973	142		
714	255	779	128	844	91	909	242	974	140		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TABLA DE COORDENADAS DE LA VOCAL "I"

t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)	t	f(i)		
0	64	65	116	130	111	195	86	260	108	325	119	390	159	455	201	520	234	585	217
1	64	66	114	131	110	196	85	261	107	326	118	391	158	456	200	521	234	586	216
2	65	67	112	132	108	197	83	262	106	327	116	392	158	457	200	522	233	587	216
3	65	68	110	133	107	198	82	263	105	328	115	393	158	458	199	523	233	588	215
4	66	69	107	134	105	199	81	264	102	329	113	394	158	459	199	524	232	589	214
5	66	70	104	135	103	200	79	265	100	330	112	395	157	460	199	525	231	590	214
6	67	70	101	136	101	201	78	266	97	331	112	396	157	461	198	526	230	591	213
7	69	72	98	137	98	202	76	267	94	332	111	397	157	462	198	527	228	592	212
8	70	73	95	138	95	203	75	268	92	333	111	398	157	463	198	528	227	593	211
9	72	74	92	139	92	204	74	269	89	334	110	399	156	464	198	529	224	594	210
10	77	75	88	140	90	205	72	270	88	335	110	400	156	465	197	530	223	595	209
11	79	76	85	141	85	206	70	271	86	336	110	401	156	466	197	531	221	596	208
12	82	77	82	142	82	207	69	272	85	337	110	402	156	467	197	532	220	597	207
13	85	78	79	143	79	208	67	273	83	338	110	403	156	468	197	533	218	598	206
14	88	79	77	144	77	209	65	274	82	339	111	404	156	469	197	534	216	599	204
15	92	80	72	145	74	210	64	275	81	340	111	405	156	470	197	535	214	600	203
16	95	81	70	146	70	211	63	276	81	341	112	406	156	471	197	536	212	601	201
17	98	82	69	147	67	212	62	277	80	342	113	407	156	472	197	537	211	602	200
18	101	83	67	148	65	213	61	278	80	343	114	408	157	473	198	538	210	603	199
19	104	84	66	149	64	214	60	279	80	344	115	409	157	474	198	539	209	604	198
20	107	85	66	150	62	215	59	280	80	345	117	410	157	475	198	540	208	605	197
21	110	86	65	151	60	216	58	281	80	346	118	411	157	476	198	541	207	606	196
22	112	87	65	152	58	217	58	282	80	347	120	412	158	477	199	542	206	607	194
23	114	88	64	153	56	218	58	283	81	348	122	413	159	478	199	543	205	608	192
24	116	89	64	154	55	219	58	284	82	349	124	414	159	479	200	544	205	609	191
25	119	90	64	155	54	220	58	285	83	350	126	415	161	480	200	545	205	610	190
26	122	91	65	156	52	221	59	286	84	351	127	416	163	481	201	546	204	611	189
27	124	92	66	157	51	222	60	287	85	352	128	417	165	482	201	547	204	612	188
28	126	93	66	158	51	223	61	288	87	353	130	418	168	483	202	548	204	613	187
29	128	94	67	159	50	224	63	289	88	354	132	419	170	484	202	549	204	614	186
30	130	95	69	160	50	225	63	290	91	355	134	420	172	485	203	550	204	615	184
31	132	96	71	161	50	226	64	291	93	356	135	421	175	486	204	551	204	616	183
32	133	97	73	162	50	227	65	292	95	357	137	422	177	487	204	552	204	617	182
33	135	98	75	163	51	228	67	293	97	358	139	423	179	488	205	553	204	618	180
34	136	99	77	164	51	229	69	294	99	359	140	424	182	489	206	554	205	619	179
35	138	100	80	165	52	230	71	295	101	360	142	425	184	490	207	555	205	620	179
36	139	101	83	166	54	231	72	296	103	361	143	426	186	491	208	556	205	621	178
37	140	102	85	167	55	232	75	297	105	362	145	427	188	492	209	557	206	622	177
38	140	103	87	168	56	233	77	298	108	363	146	428	190	493	209	558	206	623	176
39	141	104	90	169	58	234	80	299	110	364	148	429	192	494	210	559	207	624	176
40	142	105	92	170	60	235	82	300	111	365	149	430	193	495	211	560	207	625	175
41	142	106	95	171	62	236	84	301	112	366	151	431	194	496	212	561	208	626	175
42	142	107	98	172	63	237	86	302	114	367	152	432	195	497	213	562	209	627	175
43	143	108	101	173	65	238	88	303	116	368	153	433	196	498	214	563	209	628	175
44	143	109	103	174	68	239	90	304	118	369	154	434	196	499	215	564	210	629	174
45	143	110	105	175	70	240	92	305	119	370	155	435	197	500	217	565	211	630	174
46	143	111	107	176	72	241	94	306	121	371	156	436	198	501	218	566	211	631	174
47	142	112	108	177	75	242	95	307	122	372	156	437	198	502	220	567	212	632	174
48	142	113	110	178	77	243	97	308	124	373	157	438	199	503	221	568	212	633	174
49	142	114	111	179	79	244	99	309	124	374	158	439	200	504	222	569	213	634	174
50	141	115	113	180	81	245	100	310	125	375	158	440	200	505	223	570	213	635	174
51	140	116	114	181	83	246	102	311	126	376	158	441	201	506	224	571	214	636	174
52	140	117	115	182	85	247	104	312	127	377	159	442	201	507	225	572	214	637	175
53	139	118	116	183	86	248	105	313	128	378	159	443	201	508	226	573	214	638	175
54	138	119	117	184	87	249	106	314	128	379	159	444	201	509	227	574	215	639	175
55	136	120	118	185	89	250	107	315	128	380	160	445	202	510	228	575	215	640	175
56	135	121	118	186	89	251	108	316	128	381	160	446	202	511	230	576	216	641	176
57	133	122	119	187	90	252	109	317	128	382	160	447	202	512	230	577	216	642	176
58	132	123	118	188	90	253	109	318	127	383	160	448	202	513	231	578	216	643	176
59	130	124	118	189	90	254	109	319	127	384	160	449	202	514	232	579	216	644	177
60	128	125	117	190	90	255	110	320	127	385	160	450	202	515	233	580	216	645	177
61	126	126	116	191	89	256	110	321	125	386	160	451	202	516	233	581	217	646	177
62	124	127	115	192	89	257	109	322	124	387	159	452	201	517	234	582	217	647	178
63	122	128	114	193	88	258	109	323	123	388	159	453	201	518	234	583	217	648	178
64	119	129	113	194	87	259	108	324	122	389	159	454	201	519	234	584	217	649	179

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

TABLA DE COORDENADAS DE LA VOCAL "I"

t	f(t)	t	f(t)								
650	179	715	143	780	114	845	51	910	50	975	95
651	180	716	142	781	114	846	51	911	50	976	100
652	180	717	140	782	114	847	51	912	50	977	104
653	181	718	139	783	115	848	51	913	50	978	107
654	181	719	138	784	115	849	50	914	50	979	109
655	181	720	137	785	115	850	50	915	50	980	112
656	182	721	136	786	115	851	50	916	51	981	115
657	182	722	135	787	115	852	50	917	51	982	117
658	183	723	134	788	116	853	50	918	52	983	119
659	183	724	133	789	116	854	50	919	53	984	121
660	184	725	132	790	116	855	50	920	54	985	123
661	184	726	132	791	116	856	51	921	55	986	124
662	184	727	131	792	116	857	51	922	57	987	125
663	185	728	130	793	116	858	52	923	59	988	126
664	185	729	129	794	116	859	52	924	61	989	127
665	186	730	128	795	116	860	52	925	63	990	128
666	186	731	127	796	116	861	53	926	65	991	128
667	186	732	126	797	116	862	54	927	67	992	128
668	186	733	125	798	116	863	54	928	72	993	128
669	187	734	124	799	115	864	54	929	75	994	128
670	187	735	123	800	115	865	55	930	78	995	127
671	187	736	122	801	114	866	55	931	80	996	126
672	187	737	121	802	114	867	56	932	81	997	125
673	187	738	121	803	113	868	56	933	82	998	124
674	187	739	120	804	113	869	57	934	83	999	123
675	187	740	119	805	111	870	57	935	84	1000	121
676	187	741	119	806	110	871	58	936	84	1001	118
677	187	742	118	807	109	872	58	937	84	1002	115
678	186	743	117	808	108	873	59	938	83	1003	111
679	186	744	117	809	107	874	59	939	82	1004	107
680	186	745	116	810	105	875	59	940	81	1005	102
681	185	746	116	811	104	876	60	941	80	1006	97
682	184	747	115	812	102	877	60	942	78	1007	93
683	183	748	115	813	99	878	60	943	75	1008	89
684	182	749	114	814	96	879	60	944	74	1009	85
685	181	750	113	815	93	880	60	945	71	1010	80
686	180	751	113	816	90	881	60	946	68	1011	77
687	178	752	113	817	87	882	61	947	65	1012	74
688	177	753	112	818	85	883	61	948	62	1013	72
689	175	754	112	819	83	884	61	949	59	1014	70
690	174	755	112	820	82	885	61	950	57	1015	69
691	173	756	112	821	79	886	60	951	55	1016	68
692	172	757	111	822	77	887	60	952	54	1017	67
693	170	758	111	823	75	888	60	953	52	1018	66
694	169	759	111	824	73	889	60	954	51	1019	66
695	167	760	111	825	71	890	60	955	50	1020	65
696	166	761	111	826	70	891	59	956	50	1021	65
697	165	762	111	827	68	892	59	957	50	1022	64
698	164	763	111	828	67	893	59	958	50	1023	64
699	163	764	111	829	65	894	58	959	50		
700	162	765	111	830	64	895	58	960	50		
701	160	766	111	831	63	896	57	961	51		
702	159	767	111	832	62	897	57	962	51		
703	158	768	111	833	60	898	56	963	53		
704	156	769	112	834	58	899	56	964	54		
705	155	770	112	835	57	900	55	965	55		
706	153	771	112	836	57	901	55	966	56		
707	152	772	112	837	55	902	54	967	51		
708	151	773	112	838	55	903	53	968	65		
709	150	774	113	839	54	904	53	969	69		
710	149	775	113	840	54	905	52	970	74		
711	148	776	113	841	53	906	51	971	77		
712	147	777	113	842	52	907	51	972	80		
713	145	778	114	843	52	908	51	973	85		
714	144	779	114	844	51	909	51	974	90		

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.2 Presentación del sintetizador

Como se mencionó antes, el equipo que se está desarrollando es un equipo de mesa, por lo que la presentación se realizó acorde con esta afirmación. La fig. 4.9 ilustra al aparato con sus respectivas dimensiones. La parte frontal se gira hacia la persona que esté trabajando en él, se construyó así para facilitar algún mantenimiento posterior del mismo.

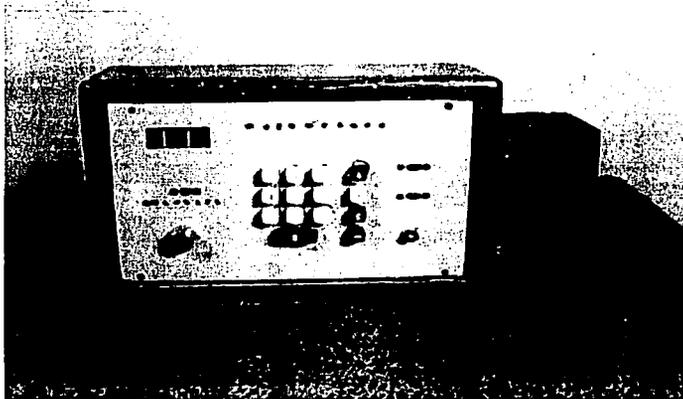


Fig. 4.9 a Vista frontal del sintetizador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

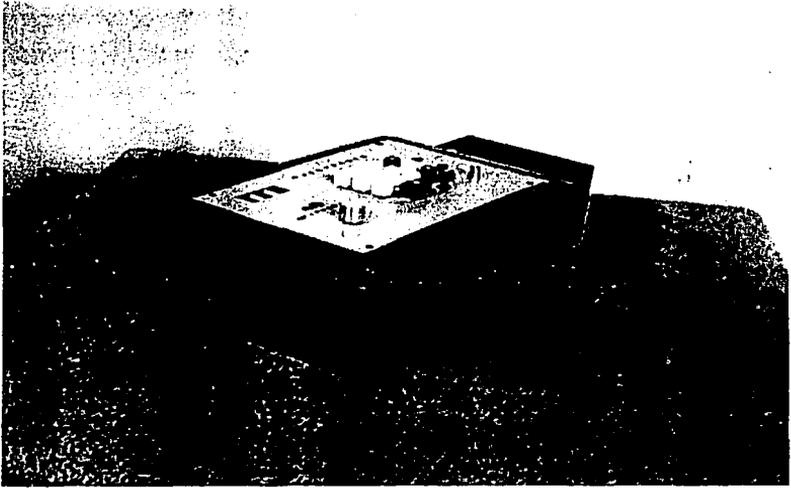
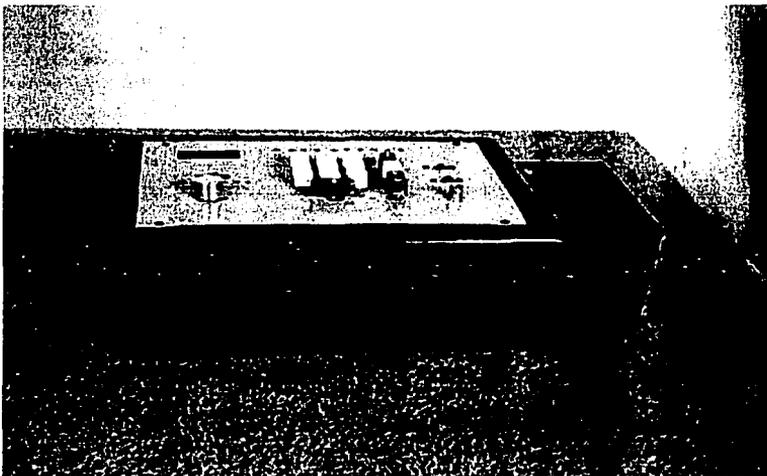


Fig. 4.9b Vista tridimensional del sintetizador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 4.9c Vista de lo ancho del sintetizador**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES**

El presente trabajo es una modesta aportación para llevar a cabo diversas prácticas relacionadas con la transmisión-recepción de señales en los laboratorios de nuestra Facultad.

No es un dispositivo que maneje la más alta tecnología, ni tampoco es un aparato que se haya hecho con componentes difíciles de encontrar en el mercado.

Este es un instrumento que fue hecho para mostrar de una forma sencilla, el manejo de señales digitales, y sus diferentes transformaciones para producir señales senoidales, triangulares, cuadradas y pseudoaleatorias.

Existen en el mercado equipos programables llamados DSP (procesador digital de señales), que con una configuración sencilla y con pocos circuitos integrados, realizan un sinnúmero de funciones, en comparación con el aparato

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

que se presenta. Dichos dispositivos DSP pueden aportar mucho al campo académico en relación a obtener muy buenos resultados finales, pero son dispositivos demasiado poderosos para la aplicación que se propone, ya que pueden realizar muchas más operaciones con señales analógicas, que el simple almacenamiento de un conjunto de valores.

El sintetizador que se presenta, aplica técnicas sencillas para desglosar poco a poco las diferentes transformaciones de las señales digitales, y termina programando cualquier señal que se quiera utilizar.

En una época en que la tecnología avanza a pasos agigantados, es muy indispensable que los nuevos dispositivos que se diseñen no caduquen o pasen de moda en poco tiempo, ya sea porque no fueron de mucha aplicación o porque surjan otros de más fácil manipulación y de más avanzada aplicación.

En la realización del presente proyecto, siempre estuvo presente el punto de vista académico, y por lo mismo, las diferentes transformaciones de las señales digitales, se llevaron a cabo haciendo un plan integral de todos y cada uno de los componentes del diagrama de bloques que se presentó. Tan cierta es esta afirmación, que no se escatimó utilizar un número relativamente grande de circuitos integrados, pues se utilizaron más de treinta, sin tomar en cuenta si caduca o no el instrumento.

Para llegar al objetivo trazado se consultaron diversos manuales, revistas, folletos, etc., los cuales se incluirán en la bibliografía que se mostrará en las últimas páginas.

También, se anexará al presente un glosario de todos y cada uno de los componentes incluidos en el diagrama general del sintetizador, para facilitar cualquier consulta al respecto.

La presentación hecha del dispositivo, fue pensada en base a poderlo manipular fácilmente, es decir, de poco peso y sin que ocupe mucho espacio en el área donde se vaya a trabajar con él.

Por último, se elaborará un pequeño índice de fallas y sus soluciones, por si se requiere dar algún mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, en caso de falla.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1- THE TTL DATA BOOK for Design Engineers, Texas Instruments incorporated. 1973.**
- 2- ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY, Robert Boylestad y Louis Nashelsky. 1987.**
- 3- PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA, Albert Paul Malvino. 1989.**
- 4- LÓGICA DIGITAL Y DISEÑO DE COMPUTADORES, M. Morris Mano. 1982.**

## GLOSARIO DE COMPONENTES UTILIZADOS

No.	COMPONENTE	FUNCIÓN
U1,U2	7408	COMPUERTA "Y"
U3	74147	CODIFICADOR DECIMAL A BCD
U4	7404	INVERSOR
U5,U22	555	CIRCUITO MONOESTABLE(TIMER)
U6,U7,U8	74175	FLIP/FLOPS TIPO "D"
U9,U10,U11	7446	DECODIF. BCD A SIETE SEGMENTOS
U12 A U17	74184	DECODIFICADOR BCD A BINARIO
U18,U19	74125	AISLADOR DE TRES ESTADOS
U20,U21	2114	MEMORIA DE ACCESO ALEATORIO(RAM)
U23	CD4040	CONTADOR DIRECCIONADOR BINARIO
U24	DAC0800	CONVERTIDOR DIGITAL ANALÓGICO
U25 A U32	7490	CONTADOR DIVISOR POR DIEZ
U33	7473	FLIPS/FLOP TIPO J-K DIVISOR POR DOS

SE UTILIZARON TRES CIRCUITOS INTEGRADOS REGULADORES PARA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN: 7805 PARA 5V  
7815 PARA 15V  
7915 PARA -15V

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## INDICE DE FALLAS

No.	AVERÍA	POSIBLE SOLUCIÓN
01	El instrumento no enciende.	Checar fuente de alimentación: Cable, transformador reductor, diodos rectificadores y circuitos integrados(CIs) 7805,7815,7915
02	No prenden los exhibidores.	Checar alimentación a los exhibidores, de siete segmentos, CIs 7446, 74175, 7404 y 74147.
03	La base de tiempos no trabaja.	Checar oscilador de cristal. CIs 7490 y 7473, así como su alimentación de 5V.
04	Las memorias no retienen la información que se quiere almacenar.	Checar alimentación de 5V de CIs 2114, CD4040 y 555 de este último.
05	El número pulsado no coincide con el número binario que se quiere almacenar.	Checar diodos emisores de luz(LED) relacionados y CIs 74184 incluyendo su alimentación de 5V.
06	Al pulsar un número en el teclado, este no se exhibe o se exhibe incompleto.	Checar conexión de las teclas, CIs 74147, 7404, 74175, 7446 y 555 relacionado, así como los exhibidores de siete segmentos, incluyendo alimentación 5V.
07	Los diodos emisores de luz de direccionamiento y de almacenamiento no encienden o encienden anormalmente.	Checar diodos emisores de luz.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN