

300615
34
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S P R O F E S I O N A L

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO-ELECTRICO
CON AREA PRINCIPAL EN ELECTRONICA

P R E S E N T A

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

MEXICO, D. F.

SEPTIEMBRE DE 1987



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 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.

I N D I C E :

INTRODUCCION	1
Notas Aclaratorias	4
Agradecimiento	6
CAPITULO I	7
IMPORTANCIA DE LOS FILTROS EN LA ELEC- TRONICA, CONTROL Y COMUNICACIONES	
CAPITULO II	15
TIPOS DE FILTROS Y SUS APLICACIONES.	
CAPITULO III.....	25
FILTROS DIGITALES.	
Integración del Filtro	27
Generador de Ventana	32
CAPITULO IV	37
CONFIGURACION DEL SISTEMA PROPUESTO.	
Consideraciones de Diseño	38
CAPITULO V	43
DISEÑO DEL FILTRO	
Explicación General de Funcionamiento	45
El Programador	47
Panel de Controles.....	53
El Frecuencímetro	58

Los Comparadores	64
El Controlador	70
Acoplador de Entrada	71
Fuente de Alimentación	79
Acoplador de Salida	83
Diseño de Impresos	86
Impreso para el Filtro de Ventana	100
CAPITULO VI	108
METODOLOGIA DE PRUEBA.	
Ensamble de Componentes	109
Aplicación de una Señal	111
CAPITULO VII	114
RESULTADOS EXPERIMENTALES.	
Rechazo y Pendiente del Filtro	115
, Evaluación de Resultados.....	121
Distorsión y otros Problemas	121
CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFIA	127

I N T R O D U C C I O N :

Los filtros de frecuencia han sido perfeccionados poco a poco a lo largo del tiempo. Sin embargo, estos no han logrado la calidad y eficiencia que otras etapas donde interviene la frecuencia o señales alternas.

Recientemente, con la aparición de los circuitos operacionales, fue posible una nueva concepción de filtros, los llamados filtros activos; Cuyas características de respuesta superaban en la mayoría de los casos a sus antecesores, los filtros pasivos.

Hoy en día, los avances en las técnicas de integración, y en general la tecnología desarrollada en el campo de la electrónica nos permiten intentar el diseño y la comercialización de una nueva familia de filtros... Los filtros DIGITALES.

Lo que se pretende, es no solo mejorar las características del filtro, sino también disminuir los costos de producción, facilitar la fabricación de los mismos y disminuir sus dimensiones para así lograr incorporarlos a los equipos modernos donde su peso, tamaño y bajo consumo los vuelven más eficientes y día con día sus aplicaciones se vuelven más numerosas.

Al oír la palabra "DIGITAL" suelen llegar a nuestra mente, complejos sistemas de computación o tal vez un solo circuito integrado. En realidad el filtro desarrollado a lo largo de esta tésis tiene mucho que ver con ambas cosas; Su estructura y fun-

cionamiento es similar al de un computador y su construcción puede realizarse sin problemas en un solo integrado con la tecnología actual.

Resulta evidente, que la fabricación de un nuevo integrado, requiere de cálculos y estudios en ocasiones muy sofisticados, sin embargo, partiendo de la investigación realizada a lo largo del tiempo que dió origen a esta tesis; Se ha podido estudiar la factibilidad de integración del filtro digital programable. La única dificultad existente, es la falta de apoyo a la investigación en un país poco industrializado como el nuestro, donde los esfuerzos por el diseño de nuevos elementos son muy escasos y dichos esfuerzos por ende, pocas veces fructifican.

Los elementos que configuran la mayoría de los filtros concebidos hasta la fecha; básicamente son capacitores y bobinas; elementos cuyas características físicas impiden su reducción de tamaño; además, su costo en ocasiones es excesivo, siendo hoy en día más económico un circuito integrado que aloja en su interior decenas de transistores, resistencias y semiconductores, que un simple capacitor electrolítico de fabricación nacional y careciendo de tecnología propia para la integración.

Es por esto que resulta de gran utilidad para el desarrollo de nuevos sistemas electrónicos, un filtro con capacidad de integración de todas sus partes, así como también, una gran flexibilidad en sus aplicaciones. Ello es posible únicamente, utilizando las grandes ventajas que presentan los semiconductores a--

plicados en sistemas digitales.

De la investigación realizada en el diseño de esta clase de filtros, surgen innumerables aplicaciones pero debe de tenerse - siempre en cuenta que las características de cada diseño tienen como objeto cubrir una aplicación específica y es necesaria -- siempre alguna modificación para su aplicación general.

Aquí se presenta un tipo de filtro digital cuya sencillez y amplio rango de programación le permite ser un prototipo con -- gran proyección para su comercialización, cubriendo aplicaciones diversas en las comunicaciones, codificación de señales, -- convertidores A/D, codificadores de tonos en controles, filtrado de señales, alarmas de disparo por frecuencia, etc. Estas y otras muchas aplicaciones son descritas a lo largo del último - capítulo, así como los resultados experimentales obtenidos.

Por último deberá considerarse la definición de algunos términos utilizados en la explicación del funcionamiento y diseño del filtro; Asumiendo que el lector, posee conocimientos básicos de electrónica y experiencia en el manejo de circuitos digitales que constituyen la base de estos diseños.

NOTAS ACLARATORIAS:

Entendamos por filtro digital, un dispositivo electrónico compuesto por elementos digitales (Lógica binaria) cuya respuesta al paso de una señal será una respuesta lógica de uno o cero para indicar el paso o no paso de la señal.

Señales digitales son aquellas señales que solo tienen dos valores o niveles. (comunmente serán llamadas señales discretas)

Las señales analógicas pueden tener cualquier voltaje dentro de un rango determinado; Es decir, su variación puede ser continua y existe un número infinito de voltajes en un intervalo de tiempo por pequeño que este sea.

La parte digital del filtro estará constituida por elementos de respuesta discreta conocidos como compuertas lógicas, ya sea como compuertas básicas o elementos compuestos de ellas (Flip-Flop, contadores, comparadores, etc.)

La parte analógica del filtro es aquella que sirve como interface entre una señal continua y la discreta, y actúa sobre ellas.

Capacidad de programación es aquella que nos permite variar los rangos o límites del sistema, sin modificar la acción básica de control sobre la señal. La programación digital implica la variación de los límites en forma discreta, es decir en valores -- exactos o intervalos iguales escalonados.

Rango de respuesta son los límites máximo y mínimo dentro de los cuales opera el sistema y es capaz de ser programado. En los sistemas analógicos el rango de respuesta es establecido mediante - un estandar que determina si existe atenuación o ganancia de la señal en +3 dbs. a 1KHz. por ejemplo. En el caso del sistema di-

gital, definiremos su rango como aquel en el cual puede el sistema conmutar la señal respondiendo a un parámetro de comparación (denominado programa o referencia) en un determinado intervalo de tiempo (llamado reloj o base de tiempo).

La simbología utilizada en los diagramas es la simbología tradicional, y los bloques o cajas negras serán detallados en los apéndices. Las compuertas lógicas que forman estos bloques no serán desglosadas en los circuitos básicos que las componen, pues estos dependen de la tecnología utilizada en su integración. Estos prototipos experimentalmente fueron concebidos utilizando tecnología TTL, esto de ninguna manera representa una limitante y se deja a criterio del diseñador la tecnología a emplear.

El desarrollo de esta tesis fue posible gracias al apoyo de todos aquellos amigos en la Universidad LA SALLE que alimentaron mi espíritu con el ánimo para lograr algo nuevo...

"UN FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE".- Mi más sincero agradecimiento a todos ellos; y en especial por su apoyo y enseñanza a:

Ing. Jacinto Cuan Lee

Ing. Jose Antonio Torres H.

Sr. Moisés Miranda

IMPORTANCIA DE LOS FILTROS EN LA
ELECTRONICA, CONTROL Y COMUNICACIONES...

No podríamos asegurar cual es la parte más importante de un circuito electrónico, pues sin cualquiera de ellas por secundaria que pareciera dejaría de ser lo que es; y de funcionar como funciona. Estamos conscientes de que ciertas partes del circuito pueden ser críticas para su operación, como para el hombre - lo es el cerebro. Así pues, cualquier equipo no funcionaría sin una fuente de alimentación, pero no sería indispensable un foco que indique el encendido. Existen en la actualidad gran cantidad de equipos donde los filtros desempeñan papeles muy importantes.

En general, cualquier equipo de audio o video, sintonizador, receptor o emisor; tiene algún tipo de filtro. Estos aparatos funcionan dentro de un rango de frecuencias determinadas en su mayor parte por los filtros, salvo en ocasiones donde dependen de otros factores como la velocidad de respuesta de componentes, o tal vez del operador.

La aplicación más común de los filtros es la de discriminadores o supresores de frecuencia; A lo largo del capítulo V (Diseño del filtro) y el capítulo II (estudio de sus aplicaciones) será sencillo el comprender la necesidad de perfeccionar los --

filtros y surgirán sin duda, nuevas aplicaciones temas de otras Tesis.

Un filtro pasivo tiene un gran defecto además de su baja calidad. Estos filtros están concebidos para una frecuencia de -- corte única, y en aquellos casos en los que esta puede variar -- como en los sintonizadores, dicha variación se encuentra muy limitada. El hecho de utilizar un filtro de gran calidad y además con la capacidad de variar o ajustar su frecuencia de corte con gran precisión, implicaría entre otras muchas ventajas, el aprovechamiento del ancho de banda de un canal de comunicación; de forma tal que podríamos transmitir en ese mismo canal, varios -- canales extras.

Analicémoslo de otra forma. Si tuviésemos una unidad re--transmisora cuya respuesta estuviera entre los 100 MHz y los -- 150 MHz y enviáramos paquetes de información de un ancho de banda de 10 MHz, esto implicaría:

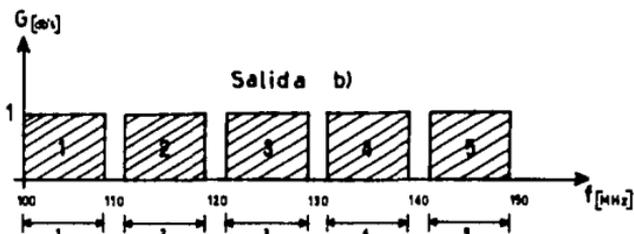
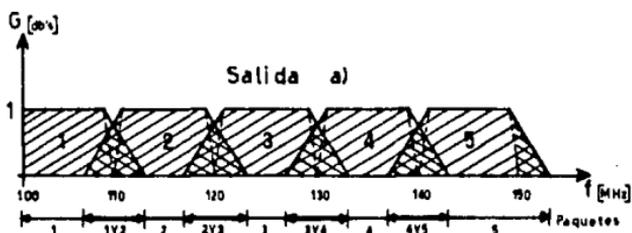
$$\frac{\text{Ancho de banda retrans.}}{\text{Ancho de la señal}} = \frac{150 \text{ MHz} - 100 \text{ MHz}}{10 \text{ MHz}} = 5$$

Esto quiere decir que nuestra retransmisora podrá manejar 5 paquetes de información sin que se traslapen. Un filtro digital en este caso permitiría el máximo aprovechamiento de los equi--pos.

En la Fig. 1.1 Se analiza gráficamente el funcionamiento de

FIGURA 1.1

Retransmisión de señales en un ancho de banda determinado, con dos filtros distintos. Filtro de baja calidad a), filtro de alta calidad b).



este equipo con dos filtros uno normal y otro de muy alta calidad.

Lógicamente la operación de los filtros en altas frecuencias se ve sumamente alterada por factores de ruido y capacitancias parásitas. Con los filtros digitales estos fenómenos adversos se verían reducidos, aunque no en su totalidad, si en gran parte.

También la electrónica se ha enfocado al control industrial y la automatización. La eficiencia de los equipos de control depende de su respuesta en el tiempo o a la frecuencia y en gran parte este control se hace en base a la frecuencia misma. Los controladores han sufrido grandes cambios al paso del tiempo: En un principio fueron mecánicos, después hidráulicos, más tarde neumáticos y hoy en día han sido reemplazados por eléctricos, y estos últimos a su vez por digitales.

Existen en el mercado numerosos dispositivos que se encargan de realizar la analogía o conversión entre sistemas electrónicos. Mediante el uso de convertidores de corriente a voltaje, de voltaje a frecuencia y de frecuencia a corriente; los filtros pueden adaptarse prácticamente a cualquier equipo de control.

Se puede considerar que el filtro digital es en si mismo, un equipo de control: Pues es capaz de ejercer una acción de paso o corte sobre la señal programada (frecuencia a filtrar), con -

la sencilla conmutación de la línea de entrada.

Cuando hablamos de respuesta a la frecuencia de un sistema consideramos dos tipos de error que pueden presentarse: Error de magnitud y Error de fase. El error de magnitud en el filtro digital es casi nulo; Esto se debe a que la acción de filtrado se realiza mediante la conmutación o abertura y cierre del interruptor; De esta manera la señal es bloqueada por completo o pasa sin ser alterada, el segundo de los casos (Error de fase), existe en pequeña escala al igual que en cualquier equipo real; este es producido por el tiempo de respuesta del propio equipo, a pesar de que éste es un conmutador de tipo electrónico y su velocidad de abertura y cierre es muy alta.

A lo largo del Capítulo III se analizan estos factores más a fondo y se proponen algunas soluciones a los problemas antes mencionados con el fin de optimizar no solo el diseño de filtro; Sino sentando así las bases para futuros diseños de éste tipo.

Depende de la aplicación específica de cada filtro, la calidad necesaria en el mismo. En un filtro de audio cuya función es desviar la frecuencia hacia los altavoces tal vez no sea muy crítica la calidad del filtro; sin embargo podríamos considerar un canal de comunicaciones donde requerimos de gran calidad para evitar que una señal interfiera con otra.

Para evaluar de una forma más precisa la calidad de un fil-

tro, relacionamos la unidad de ganancia (Decibel) con una unidad de frecuencia (Octava): de esta forma podremos juzgar si un filtro es mejor que otro o más preciso cuantos más db's/oct (decibels/octava) tenga de atenuación.

Partiendo de estos conceptos el primer objetivo fue el de diseñar un filtro cuyas características se aproximarán lo más posible al caso ideal. Procurar una pendiente muy aproximada a 90 - grados causando así una atenuación muy grande a las frecuencias que el filtro debiera cortar.

Un filtro con estas características tiene un sin número de aplicaciones en equipos de medición y control, y su precisión lo convertiría en un excelente equipo patrón.

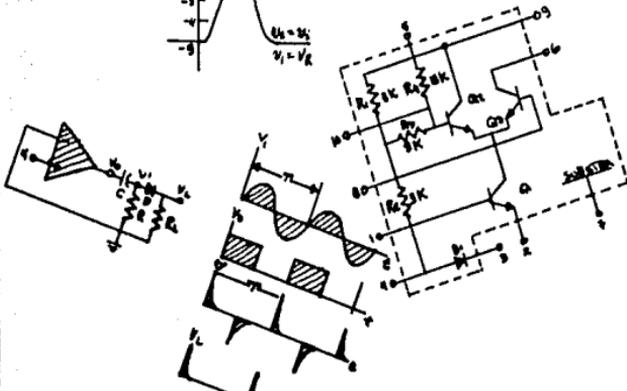
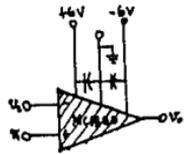
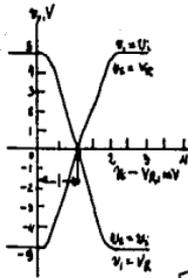
No es necesario extenderse en la aplicación de los filtros digitales, pues las aplicaciones de cualquier dispositivo son todas aquellas en las cuales el diseñador sea capaz de adaptar el sistema y sus características. Sería limitativo el hecho de tratar de enumerar únicamente aquellas que sean capaces de concebir el diseñador.

La relevancia del filtro digital, estriba en la capacidad de integración del mismo, así como su factibilidad de programación haciendo un sistema flexible capaz de responder a múltiples necesidades sobre todo en sistemas cuya limitante sea el acoplamiento de señales discretas a señales continuas.

El problema de comunicación entre sistemas, a resultado ser

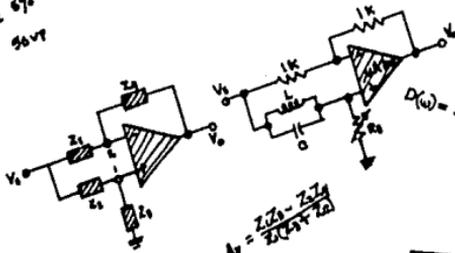
no los sistemas en si, sino los canales de comunicación por el número de estos o por las pérdidas y distorsiones sufridas en las señales entre su transmisión y su recepción; Por ello se ha perfeccionado sustituyendo líneas de alambre por fibras ópticas o frecuencias de radio por microondas, pero básicamente la densidad de líneas o canales a seguido siendo el problema básico; Este problema se ha visto resuelto en gran parte por los sistemas de conmutación (conmutadores) o multiplexadores (MUX) pero las formas de multiplexado no han variado desde sus concepciones básicas.

En este campo el filtro digital representa un avance más. Su selectividad permite ser conectado a una red de multiplexado con un ancho de banda muy preciso al cual se le programa y auto conmutarse a la línea. Al decir "auto-conmutarse a la línea" -- nos referimos a ejercer una acción autónoma, sin necesidad de control externo... una acción inteligente derivada de una respuesta al programa del sistema.

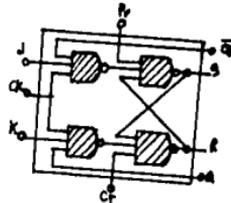


CAPITULO II

$R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$ 8%
 $C_1 = 10 \mu\text{F}$ 50V



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



TIPOS DE FILTROS Y SUS APLICACIONES

Antes de dar comienzo a este capítulo es importante aclarar que las aplicaciones de los filtros pueden ser las mismas sin importar si estos son: Pasivos, Activos o Digitales; a pesar de que la calidad del filtrado sea muy distinta en cada caso.

Se hace referencia, a lo largo de este capítulo, a algunas aplicaciones de los filtros en sistemas de control, en equipos de calibración, etc; Sin que por ello se limite su uso. La clasificación tradicional de los filtros: Filtros Pasivos y Filtros Activos, se ha vuelto por completo obsoleta... Ya han desarrollado nuevos filtros de cristal que pueden agruparse en una nueva categoría. En nuestro caso, con el fin de realizar una clasificación más completa los dividiremos en cuatro grupos principales:

Filtros Pasivos

Filtros Activos

Filtros de Cristal

Filtros Digitales

Obviamente cada una de estas familias de filtros implica mayores avances tecnológicos; Aún así, su funcionamiento a pesar de ser completamente diferente, puede ser explicado aunque en forma muy breve a lo largo de este capítulo.

La aplicación más común de un filtro como se había comentado es la de "Discriminador o supresor" de alguna frecuencia, y en general esta discriminación se efectúa de la misma forma sin importar la familia de filtros al que pertenezca (pasivo, activo, etc.):

- Filtro paso bajo- Cuando se eliminan las frecuencias arriba de la establecida como frecuencia de corte (f_0).
- Filtro paso alto- Cuando se eliminan las frecuencias abajo de las frecuencias de corte y se permite el paso de frecuencias más altas.
- Filtro paso banda- Es la combinación de los dos anteriores; Este permite el paso de las frecuencias existentes entre una frecuencia de corte alta y una baja. Determinando un ancho de banda del filtro.

Esto se hace más claro a través de la representación gráfica en la Fig. 2.1.

Ahora bien, analicemos un filtro paso bajo y veamos lo que sucedería con una señal de 700 Hz y con una de 5000 Hz, si su frecuencia de corte (f_0) es de 1000 Hz.: (Fig. 2.2.)

El filtro de la figura 2.2. (filtro paso bajo) no se interpone a la señal 1 pues esta es de una frecuencia inferior a la de corte, por lo cual puede pasar sin alterar su ganancia. Sin

FIGURA 2.1- FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS FILTROS DISCRIMINADORES.

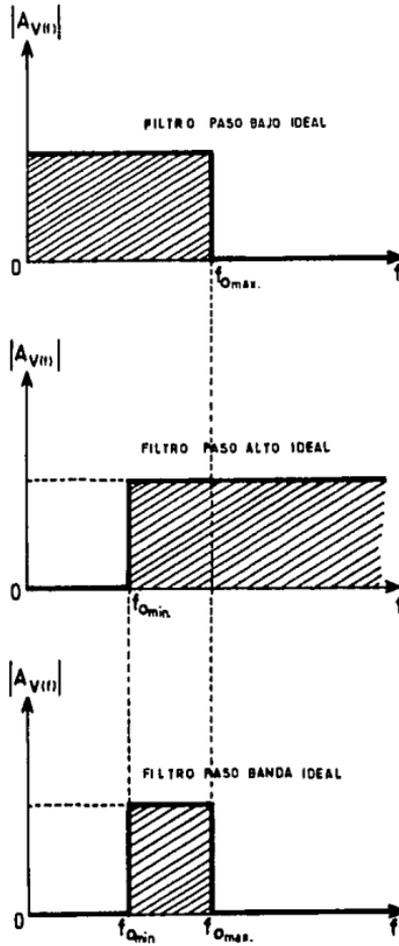


FIGURA 2.2 - RESPUESTA DE UN FILTRO PASO BAJAS

Características del filtro:

FRECUENCIA DE CORTE	1000 Hz.
TIPO DE FILTRO	PASO BAJAS
CALIDAD	IDEAL

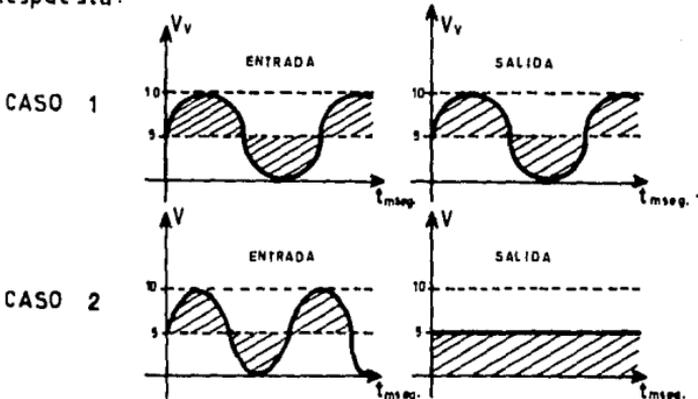
Señales de entrada:

1	SEÑAL	700 Hz	10Vpp
2	SEÑAL	9000 Hz	10Vpp

Configuración:



Respuesta:



embargo la señal 2 se ve completamente atenuada o "cortada" por el filtro ya que esta es mayor a la frecuencia de corte.

Existe diferencia entre el comportamiento ideal y real de un filtro. Esta diferencia se debe a que siempre existirá a la salida del filtro una pequeña señal, aunque muy atenuada. Esto nos permite hallar la "calidad" de un filtro utilizando un método gráfico que determina la pendiente de corte del filtro tabulado la ganancia de salida contra la frecuencia de entrada. Las respuestas de los filtros en las figuras 2.1 y 2.2 ideales; -- Pues la pendiente es de 90 grados lo que implicaría una atenuación infinita, ó ganancia cero a las frecuencias arriba de la de corte y nada de atenuación a las otras frecuencias.

Comencemos pues con los tradicionales filtros pasivos; gracias a los cuales fueron posible los primeros transmisores y equipos de audio; Estos se componen de tres elementos básicos de tipo pasivo (de ahí su nombre) que son: resistencias, bobinas, y capacitores, cualquier circuito RCL (Resistencia Capacitor Bobina) es un filtro y dependiendo del acomodo o combinación de sus elementos este filtro fungirá como paso bajo, paso alto o paso banda.

Aunque la resistencia implica una parte importante en cualquier circuito por ser quien proporciona la carga, la impedancia (Z) en los filtros tiene la función más importante, esta se ajusta con el capacitor y la bobina elementos que afectan en mayor o menor grado las propiedades del circuito.

La Fig. 2.3. Muestra la configuración básica de los filtros pasivos.

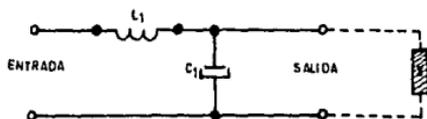
En el caso de filtro paso bajos, el capacitor durante el tiempo de descarga (semiciclo negativo de la señal compensa en parte el voltaje de entrada al circuito, mientras que en el semiciclo positivo este se carga. Si el valor del capacitor es muy elevado esto implica que el tiempo de descarga será muy largo, por lo cual en la salida se obtendrá un valor casi de corriente directa. Como podemos observar, el capacitor no desvía las señales, sino que se encarga de cubrir esos huecos existentes entre ciclo positivo y ciclo negativo de la señal. Presentando así una impedancia muy alta a ciertas frecuencias y muy baja a otras. Para su más claro entendimiento, supongamos un vehículo que camina sobre un terreno pedregoso (señal) y cuyos neumáticos son extremadamente grandes (capacitor), en este caso, el vehículo irá prácticamente igual que en un terreno plano; Ahora bien, si circulamos sobre piedras con neumáticos muy pequeños (valores de capacitancias muy bajos) prácticamente cualquier variación en el terreno (señal) nos afectará.

La bobina en ambos casos trabaja en conjunto con el capacitor, por ella circula una corriente que ayuda en gran parte a esta desviación o compensación de las señales.

Los filtros activos carecen generalmente de bobinas, su principal elemento semiconductor es el amplificador operativo o amplificador operacional, y sus elementos pasivos consisten en

FIGURA 2.3 FILTROS PASIVOS :

FILTRO BASICO PASO BAJAS :



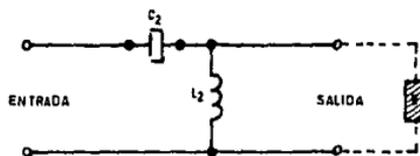
$$L_1 = \frac{1.0 \cdot Z}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad [\text{HENRIOS}]$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Z} \quad [\text{FARADS}]$$

12 Db / oct. aprox.

DONDE :
 Z = IMPEDANCIA DE LA CARGA
 f_0 = FRECUENCIA DE CORTE [HERTZ]

FILTRO BASICO PASO ALTAS :



$$L_2 = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad [\text{HENRIOS}]$$

$$C_2 = \frac{1}{3.2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Z} \quad [\text{FARADS}]$$

NOTA:

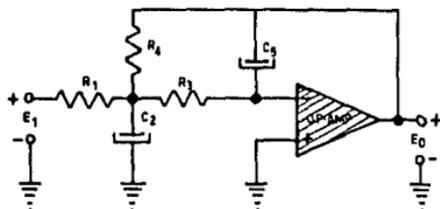
FILTROS COMUNMENTE UTILIZADOS COMO REDES
 DIVISORAS EN ALTAVOCES.

resistencias y capacitores. Los filtros activos tienen rangos de operación mucho más altos que los pasivos, además su calidad es mucho mayor, sin embargo poseen un gran defecto... la corriente que puede circular por el amplificador operacional es de pocos miliamperes, y su voltaje pocas veces excede los 15 volts.

A continuación (Fig. 2.4) se muestra una configuración básica de filtro paso bajo de tipo activo.

FIGURA 2.4- FILTROS ACTIVOS:

A) CONFIGURACION 1:

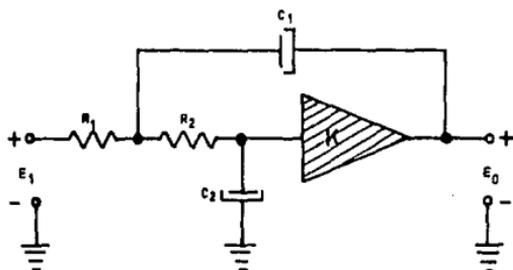


FILTRO PASO BAJAS DE RETROALIMENTACION MULTIPLE.

FUNCION DE TRASFERENCIA:

$$\frac{E_0}{E_1}(s) = \frac{-1/R_1 R_3 C_2 C_3}{s^2 + [s/C_2](1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_4) + 1/R_3 R_4 C_2 C_3}$$

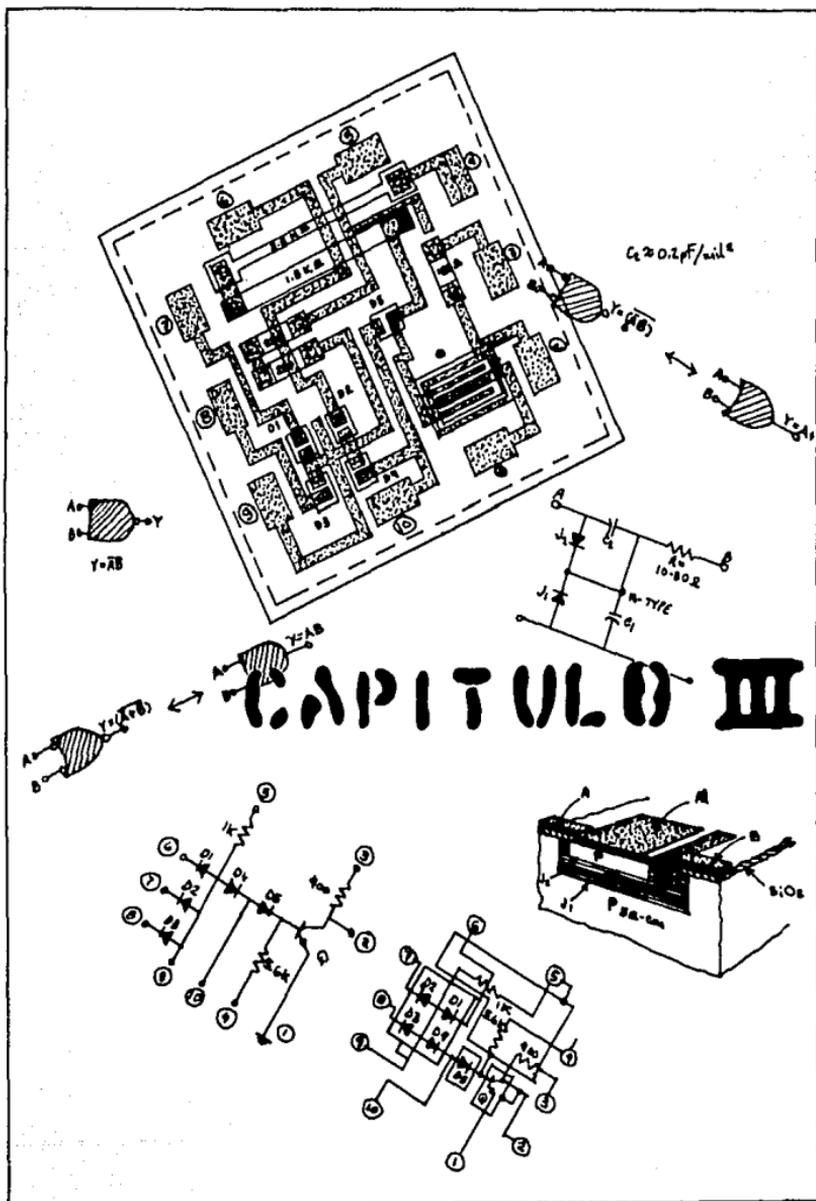
B) CONFIGURACION 2:



RED DE PASO BAJO DE FUENTE DE VOLTAJE CONTROLADA P/VOLTAJE.

FUNCION DE TRASFERENCIA:

$$\frac{E_0}{E_1}(s) = \frac{K/R_1 R_2 C_1 C_2}{s^2 + s[1/R_1 C_1 + 1/R_2 C_1 + (1-K)/R_2 C_2] + 1/R_1 R_2 C_1 C_2}$$



CAPITULO III

LOS FILTROS DIGITALES

Este capítulo, tiene como finalidad hacer una pequeña introducción a los capítulos IV y V; "Configuración del sistema propuesto" y "Diseño del filtro" respectivamente; De forma tal, -- que el lector esté familiarizado con el principio de funcionamiento de esta clase de filtros.

No está por demás aclarar que el filtro posee muy pocos elementos analógicos que no han podido reemplazarse por digitales; pues son precisamente los encargados de manipular la señal de tiempo analógica o no discreta.

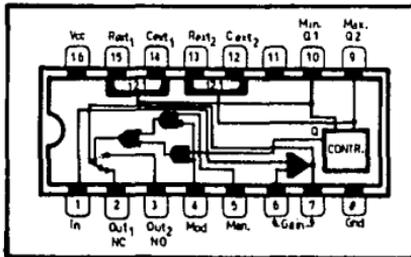
Durante la introducción, se aclaró que la idea básica al diseñar el filtro digital era la de procurar su integración en un solo "chip". Aunque aquí no se desarrollan los planos para la integración, si se hace un pequeño croquis del circuito final -- que podría ser fácilmente comercializable. Fig. 3.1 y 3.2.

Al comenzar la explicación de que es un filtro digital, lógicamente nos referiremos a este primer filtro. Más adelante, -- los diseños futuros podrán tener otras variantes y posibilidades.

El filtro digital se basa en el principio de funcionamiento de cualquier circuito lógico; El resultado del filtro equivale

FIGURA 3.1 INTEGRACION DEL FILTRO DIGITAL DE VENTANA

Vcc	ALIMENTACION DEL CIRCUITO 4.5V. MIN. - 5.5V MAX.
Rest ₁ /Cext ₁	RESISTENCIA EXTERNA A VCC. CAPACITOR EXTERNO LIM. INFERIOR
Rest ₂ /Cext ₂	RESISTENCIA EXTERNA A VCC. CAPACITOR EXTERNO LIM. SUPERIOR
MIN Q1	SALIDA DE DISPARO DEL LIMITE INFERIOR
MAX Q2	SALIDA DE DISPARO DEL LIMITE SUPERIOR
IN	ENTRADA ANALÓGICA 1 Vpp.
NC OUT1	SALIDA FILTRADA NORMALMENTE CERRADA
NO OUT2	SALIDA FILTRADA NORMALMENTE ABIERTA
MOD	SELECTOR DE FILTRADO HI-AUTOMATICO LO-MANUAL
MAN	DISPARO MANUAL DEL FILTRO
GAIN	CONTROL DE GANANCIA O MODULADOR DE SEÑAL FILTRADA
GND	CONEXION A TIERRA DEL CIRCUITO



Duración del
impulso parametro:
 $tw(out) = 0,7 Cext.Rext.$

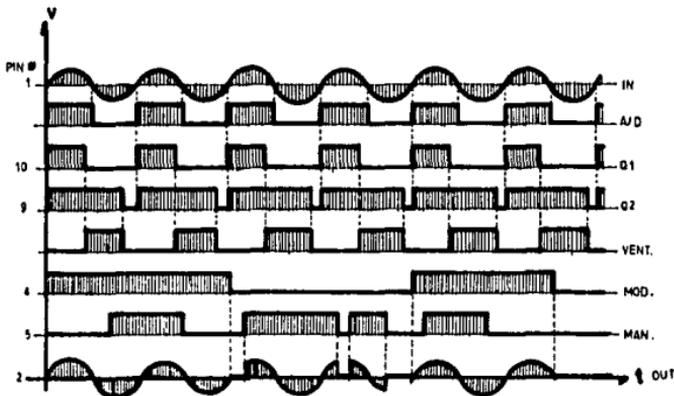
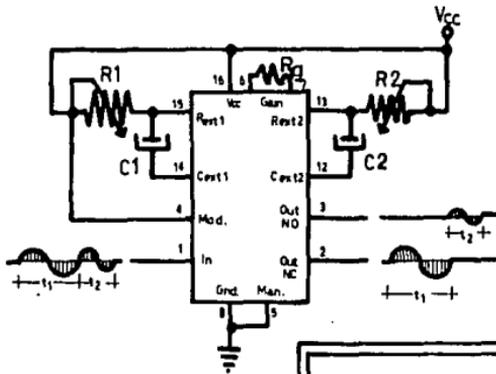


FIGURA 3.2 APLICACIONES TÍPICAS:



NOTAS:

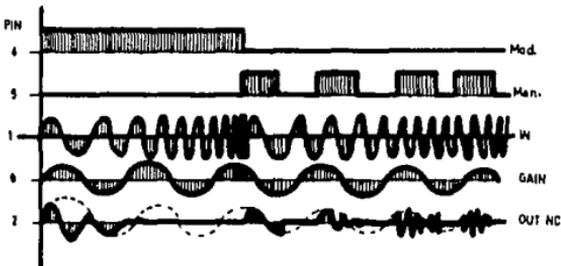
Pn 10 y 1 referencia para ajuste de R1 y R2 a
 $t_1 > t_{min} > t_2$ y $t_{max} < t_1$

R_g determina la ganancia de salida
 modo automático

$$f_s = 0.7 R_2 C_2$$

$$t_{min} > 35 \mu\text{seg.} \quad t_{max} < 20 \text{seg.}$$

EJEMPLO DE MODULACION SOBRE LA SEÑAL FILTRADA



a uno lógico si la señal debe de pasar o un cero si esta debe de ser cortada; Logrando de esta manera, una calidad en el filtrado altísima. El filtro además, tiene otra característica muy importante; Es un filtro programable, es decir que su frecuencia de corte puede ser cambiada por el operador, con tal precisión que el filtro conserva su calidad en todo el rango de operación.

La velocidad de respuesta y rango de operación de un filtro digital está determinado por las características físico-químicas de sus componentes; Un filtro digital realizado con tecnología TTL (Lógica Transistor) será más rápido y por lo tanto más exacto que uno realizado con tecnología MOS (Semiconductor de Oxido de Metal). En el capítulo V "Diseño del filtro" se comenta sobre la tecnología utilizada en el desarrollo de nuestro prototipo y las ventajas que esto representa.

El filtro además tiene la posibilidad de desplegar en una carátula digital, la frecuencia de corte a la que se encuentra programado; Esta carátula podría considerarse como algo extra dentro del sistema, sin embargo dada la precisión del programador de más/menos un microsegundo se vuelve necesaria.

La base de tiempo del sistema, determina tanto la precisión, como el rango de operación en un noventa por ciento. Por cuestiones económicas y de obtención de los componentes en el mercado nacional este prototipo responde a frecuencias programadas en microsegundos a cinco dígitos.

Debido a que el controlador del filtro es accionado por un sistema comparador que determina si la frecuencia de entrada es tá dentro del rango; Este sistema de comparación al igual que o tras partes del circuito, se compone de cinco etapas idénticas en paralelo. Lo que implica cinco veces más de componentes que si el sistema trabajara la información en serie; pero también - es cinco veces más rápido. En el diseño de los filtros digita-- les hay que sacrificar la velocidad o el número de componentes. A pesar de lo anterior el costo no varía en forma significativa teniendo unas cuantas compuertas lógicas de más o de menos.

Los integrados construidos hoy en día para una CPU (Unidad Central de Progreso) con técnicas LSI (Larga Escala de Integración) contienen en su interior cientos de compuertas y su costo depende básicamente del número de integrados fabricados. Gra-- cias a la flexibilidad del filtro digital y al gran número de a plicaciones que este puede tener, su fabricación podrá hacerse en escalas que permitan un costo aproximadamente igual al de un reloj digital o algún integrado similar.

Para fines prácticos, el filtro puede construirse sin el -- sistema de despliegue; Logrando de esta manera una versión eco-- nómica del filtro con la misma exactitud.

No sólo se ha desarrollado la versión completa de un filtro digital programable con carátula de despliegue, sino también una versión económica de alta precisión cuyo costo fué menor a la veinteava parte del prototipo anterior.

Además, el hecho de diseñar y construir un nuevo filtro de estas características no implicó costo de investigación y su implementación y funcionamiento se logró basándose en los principios del primer filtro digital programable.

El funcionamiento general de cualquiera de las dos versiones consiste en una "ventana de frecuencia"; (Fig.3.3).

Esta ventana através de un comparador, establece el corte de la señal en los límites superior e inferior simultaneamente para el caso de la versión económica; y através de la comparación dígito a dígito de la señal de entrada ya codificada, en uno de sus límites, para la versión completa.

A pesar de que ambos filtros son digitales y su funcionamiento lo determinan sus dos únicos estados posibles abierto o cerrado; no se programan de la misma forma. En uno, el filtro incluye un medidor de periodo; que alimenta un canal de los comparadores. El otro canal, es el que proviene del programador y la comparación es entonces de un código binario. Este código equivale a la duración del semiciclo positivo de la señal de entrada. El filtro digital de ventana tiene un comparador con compuertas lógicas, en el que los estados de uno o cero de las condiciones de entrada (digitalizada por un detector de cruce por cero); y la frecuencia de ventana que consiste en una segunda señal producida por un monoestable, (que determina el límite inferior y otro el límite superior), son comparados simultaneamente. La Fig. 3.4 muestra gráficamente la formación de la ventana

FIGURA 3.3 GENERADOR DE VENTANA:

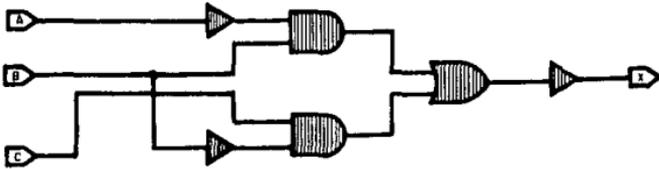


TABLA DE VERDAD				
A	B	C	Z	CONTROL
0	0	0	1	PASO
0	0	1	0	CORTE
0	1	0	0	CORTE
0	1	1	0	CORTE
1	0	0	1	PASO
1	0	1	0	CORTE
1	1	0	1	PASO
1	1	1	1	PASO

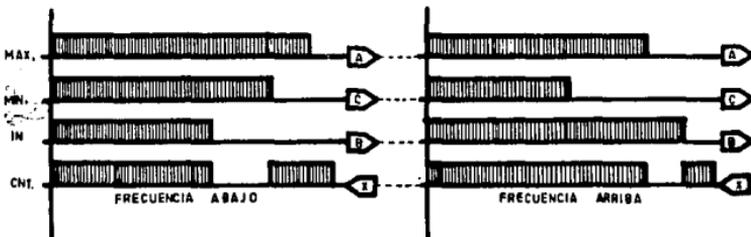
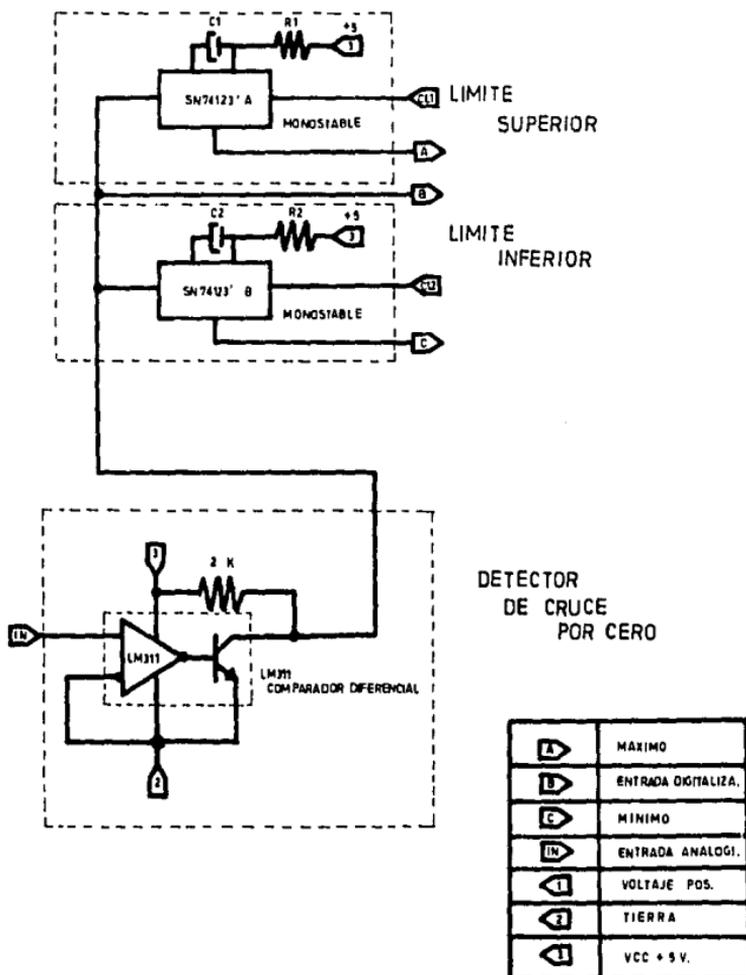


FIGURA 3.4 DISPARO DE MONOSTABLES:



y los disparos de cada monoestable.

Para diferenciar mejor ambos prototipos hablaremos del filtro "por codificación" o el filtro "de ventana", según el caso.

Si se desea que el filtro "por codificación" trabaje como paso bajo, es necesario únicamente definir: en el programador, que la frecuencia almacenada es el límite superior a cortar; Si se quiere utilizar el filtro como paso alto, el programa especificará la frecuencia mínima a pasar. Lo más importante es que la precisión del filtro permite una nueva opción de funcionamiento denominada "paso UNICO" es decir, que si y solo si, la frecuencia de entrada es igual a la programada; pasará por el conmutador.

La opción anterior permite un reacomodo en las aplicaciones de los filtros digitales:

SALIDA:

paso bajo	Cualquier frecuencia menor a la de -- corte f_0 .
paso alto	Cualquier frecuencia mayor a f_0 .
paso banda	Cualquier frecuencia entre f_0 mín. y f_0 max.
paso único	Solamente la frecuencia programada -- (f_0 .)

Hagamos ahora una breve descripción de un filtro digital bá

sico, su comportamiento ante una señal, y las características de su configuración.

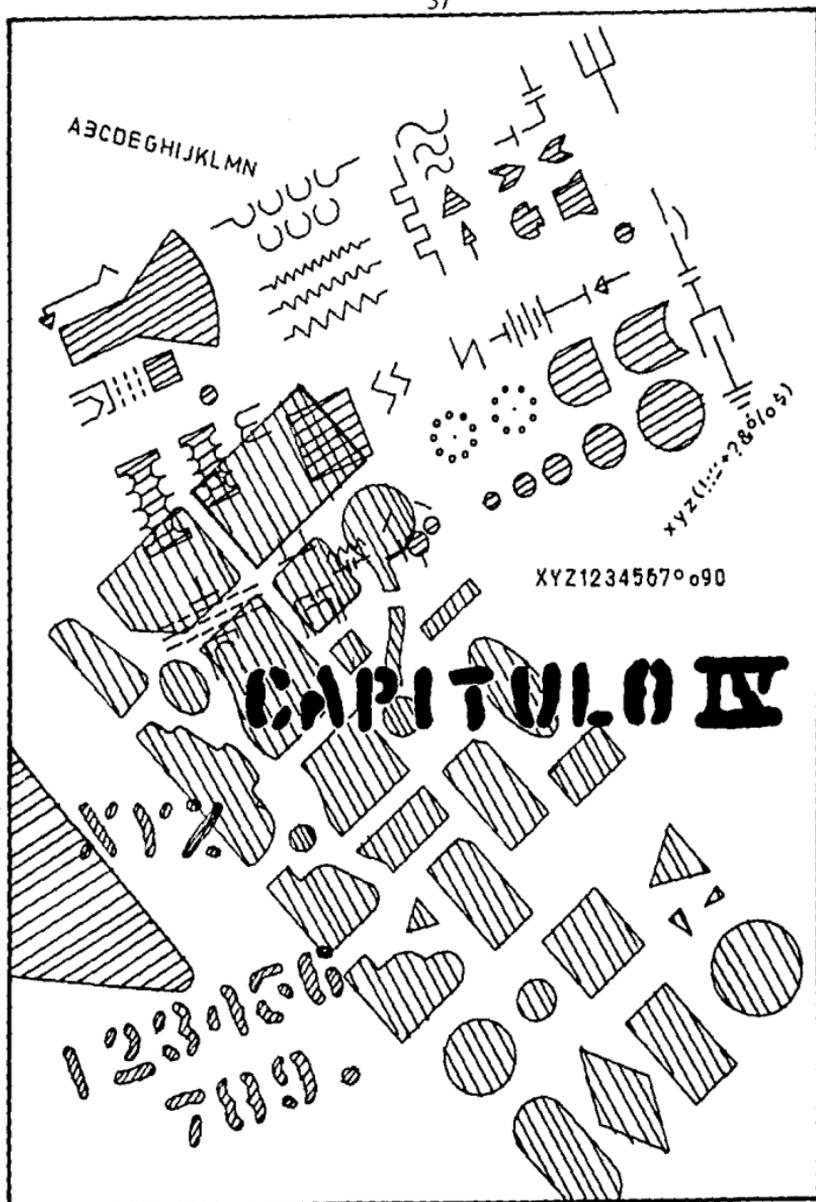
El filtro digital de ventana: Es denominado así por su respuesta comparativa, cuyos límites superior e inferior crean una ventana de ancho variable dejando pasar las señales cuya frecuencia está dentro de ese rango. Análogamente al filtro digital de ventana, podríamos tener un circuito schmitt-trigger cuya ventana es una diferencia de voltajes en vez de una de frecuencia. Esta ventana de frecuencia máxima y mínima es generada por el disparo de dos circuitos monoestables cuya duración es diferente a su inicio o disparo se realiza en el instante de detectar o registrar la señal de entrada (señal a comparar). A través de compuertas lógicas la combinación de la señal de entrada, la señal del monoestable con disparo de mínimo, y la señal del monoestable con disparo máximo responden a una tabla de verdad que determina el paso o corte de la señal a controlar. Esta es una respuesta lógica que podremos resumir en la siguiente tabla:

DISPARO MONOESTABLE MIN.	= C
DISPARO MONOESTABLE MAX.	= A
SEÑAL DE CONTROL	= B
SEÑAL A CONTROLAR	= X

El segundo tipo de filtro digital es más complejo que el anterior, esto se debe a que la ventana de frecuencia no es generada por el disparo de monoestables sino por contadores digita-

les que detectan el periodo de la señal de entrada y dicha lectura es comparada contra un valor memorizado digitalmente. Esta comparación no es de duración de pulsos. Consiste en una comparación de información numérica de tiempo de duración de las señales. Este filtro compara la cuantificación de los tiempos en forma numérica.

La gran ventaja de este tipo de filtro, es la precisión en un amplio rango de frecuencias y la factibilidad de su programación através de un microprocesador.



CAPITULO IV

CONFIGURACION DEL SISTEMA PROPUESTO :

El diseño propiamente del filtro, comienza por establecer - no solo los parámetros de funcionamiento, sino también, determinando la configuración general del sistema. En este caso la configuración básica parte de las siguientes consideraciones:

- 1°- El filtro debe de ser capaz de funcionar conectado a -- cualquier equipo sin que represente carga alguna (Impedancia de entrada muy alta).
- 2°- Todos los componentes del filtro básico (a excepción de la carátula) deben de reemplazarse por sustratos de silicio a fín de construirse en un solo circuito integrado.
- 3°- En cuanto al tipo de tecnología utilizada, esta debe ser de fácil adquisición en el mercado nacional, de precio bajo y alta velocidad de respuesta; Por lo cual fueron elegidos los circuitos digitales tipo TTL con las características de juntura LS (Low Schottky) que disminuye el consumo y aumenta la velocidad de las compuertas. Además la familia de integrados TTL es de fácil manipulación y no corre el riesgo; Como en el caso de los integrados - C-MOS, de dañarlos con las descargas estáticas durante su manipulación. Los circuitos TTL son comunmente utilizados en equipos diseñados con fines experimentales, por lo cual la corriente que suelen tolerar es suficientemen

te alta para evitar etapas posteriores de amplificación; Una gran desventaja es el voltaje de alimentación, que en estos circuitos es de 5 voltios y solo toleran variaciones de medio voltio antes de verse dañados irreparablemente; Por este motivo, la fuente de alimentación del filtro debe ser regulada. Al hablar de regulación, no nos preocupamos por el margen de medio voltio, pues un voltaje regulado no varía en más de un 1% a un 3%.

- 4°-Los módulos que no sean inherentes al circuito controlador (fuente de alimentación, carátula, etc.) serán conectados en tarjetas separadas a través de conectores múltiples de tipo estandar.
- 5°-Todos los controles pertenecientes al filtro estarán alojados en la misma tarjeta con el fin de facilitar al operador la programación. Para efecto de pruebas, dichos controles no necesitarán ser sofisticados o de presentación lujosa, pues lo que menos se procura por el momento es la apariencia del sistema experimental.
- 6°-El sistema propuesto responderá a las frecuencias de alta fidelidad para equipos de audio, (20 a 20,000 ciclos). -- Dentro de este rango podrá ser programado a intervalos de 1 microsegundos mínimo. Para ello su base de tiempo estará determinada por un Cristal de Cuarzo dando así mayor estabilidad al circuito.
- 7°-Una vez establecidos estos parámetros básicos las caracte

rísticas generales del filtro digital deberán sujetarse lo más posible a la siguiente tabla de características:

impedancia de entrada	Zin	1 Mohm's
voltaje de alimentación	VAC	120v AC
respuesta a la frecuencia		20-20000 Hz
para señales periódicas y simétricas mínimo en dos ciclos.		
Distorsión total menor al 1%.		
Operación como filtro paso bajo, paso alto o frecuencia única (a elegir).		

La concepción básica del filtro se puede reducir a cuatro bloques. El frecuentamiento, el programador, el comparador que integra la ventana de frecuencia y ejercen el control sobre el cuarto bloque que consiste en un conmutador de estado sólido que permite o no el paso de la señal si está dentro del límite establecido por el programador.

Como es lógico este sistema no puede decidir si la señal está o no dentro de los límites considerados hasta que ha pasado por lo menos un semiciclo y se ha determinado su frecuencia.

Debido a que el programa se encuentra almacenado no existe riesgo de perderlo; Y permanece programado durante la operación, al no ser que el filtro esté conectado a un micro-procesador, -- (opción que no se contempla, en diseño). La frecuencia leída por el frecuencímetro queda a su vez almacenada en memorias tempora-

les. Durante la comparación es necesario también "memorizar" la señal de entrada hasta decidir si dicha señal pasa de la memoria a la salida o simplemente es olvidada.

El otro método no consiste en almacenar las señales, sino en decidir el corte de la entrada al finalizar el semiciclo; lógicamente suponemos que el siguiente semiciclo de la señal es de un periodo idéntico al contabilizado.

Existen señales aleatorias o generadas sin simetría y no necesariamente repetitivas, con este tipo de señales, el filtro altera señales. Una forma de contrarrestar esto, es agregar al circuito una etapa en paralelo que alimente la señal de entrada invertida. Ambas salidas alimentarán a un amplificador operacional, la salida será entonces la diferencia de las señales de entrada.

En la construcción práctica fue necesaria la implementación de otras etapas adicionales, por ejemplo, los acopladores de entrada y salida como protección tanto del filtro, como del conmutador que controla el paso de la señal; ya que la corriente que puede tolerar no es muy alta y por consiguiente cualquier corto a la salida podría dañarlo.

El panel de controles es un módulo que nos permite conocer de que forma se comporta el circuito, así como ajustar las frecuencias de corte, el tipo de corte a efectuar, etc.

El filtro digital queda configurado en su versión experimen-

tal según lo muestra el plano A, que describe de una forma general los bloques que lo constituyen. Cada uno de dichos bloques se encuentra detallado en los planos A1 a A8; con el fin de analizar mejor las etapas y su diseño.

Tanto los planos como los diagramas fueron elaborados una vez terminado el filtro prototipo. Por tal motivo, más que hablar de la configuración propuesta para el sistema, realmente tendríamos que referirnos a la configuración resultante de las pruebas y perfecciones a proyectos anteriores.

Resulta más sencillo en el desarrollo modificar e implementar partes al sistema durante las pruebas y la experimentación que durante la teoría del diseño. En realidad todo el diseño es una concepción teórica o hipotética basada en experiencias anteriores y cúmulo de conocimientos que no es suficientemente válida hasta no demostrar su funcionamiento real.

ACUSE DE RECIBIDO DE EJEMPLARES DE TESIS EN LA BIBLIOTECA CENTRAL

NOMBRE DEL ALUMNO:

JOSE ANTONIO SANDOVAL FELIX

NOMBRE DE LA TESIS O SEMINARIO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DIGITAL

ACUSE DE RECIBO
SELLO Y FIRMA DE
LA BIBLIOTECA

ESCUELA O UNIVERSIDAD

CARRERA

UNIVERSIDAD LA SALLE

INGENIERIA

FECHA

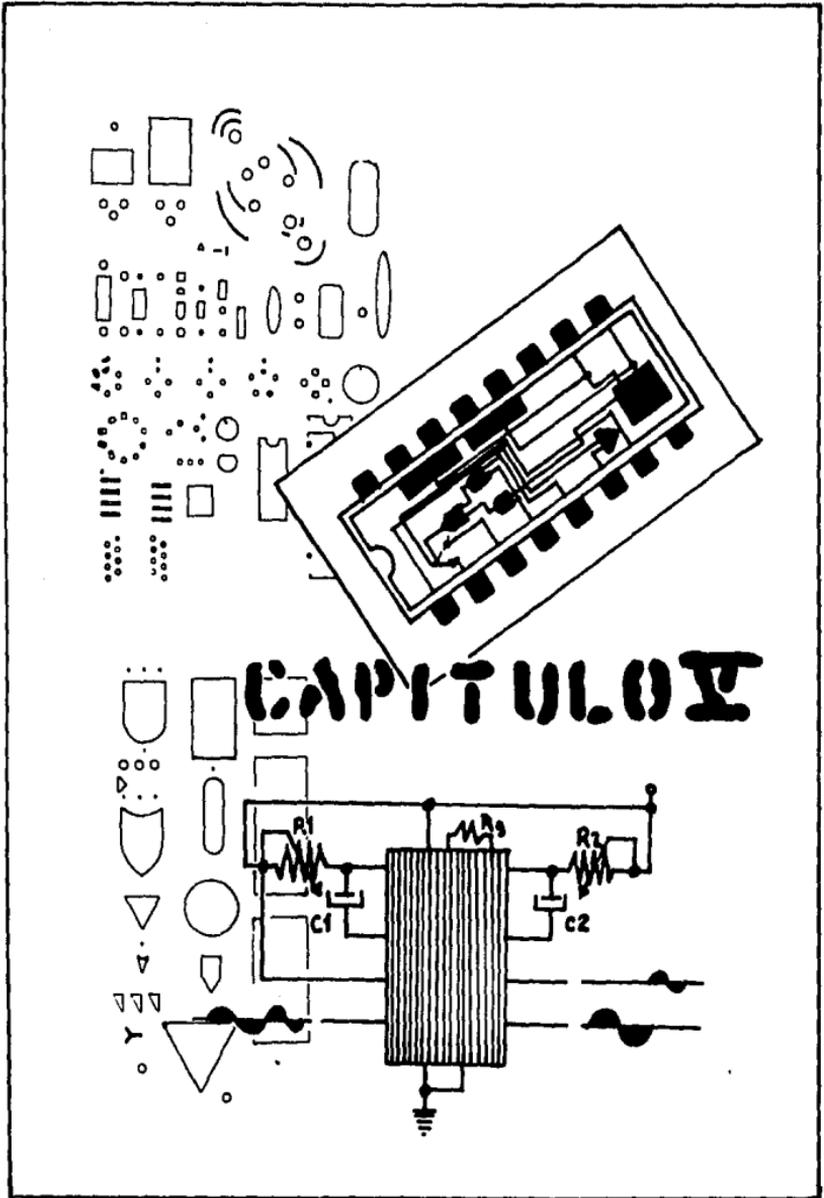
DIA

MES

AÑO

7 DE OCTUBRE DE 1989

- * Favor de llenar por triplicado con letra de molde
- * Entregar dos ejemplares de la tesis en la biblioteca central-UNAM
- * Exigir que le sellen y le firmen las dos copias



DISEÑO DEL FILTRO

Este capítulo describe tanto el funcionamiento como la realización de los prototipos. A lo largo de este capítulo interviene el diseño. La base matemática del filtro es el álgebra booleana y la lógica digital; sin embargo existen dos etapas donde los cálculos están sujetos a estímulos y respuestas analógicas, estas son: la etapa del controlador (o conmutación electrónica de la señal) y las etapas de acoplamiento de entrada y salida.

El filtro comenzó a diseñarse hacia septiembre de 1982 como proyecto de la materia de Electrónica II. Para Enero de 1983 el filtro ya estaba concebido teóricamente, aunque no en forma definitiva. Durante ese periodo se analizaron los pros y contras de algunas etapas como la de conmutación y la de detección de la frecuencia de la señal; pero nunca se analizaron los problemas que podría ocasionar el control de la señal por razones de desfaseamiento.

Por otro lado la premura para realizar el filtro como proyecto académico dió lugar a la construcción del filtro por etapas. Se explicarán las etapas en el mismo orden que fueron construidas. El diseño se llevó a la par con el armado del prototipo; algunas etapas tuvieron que rediseñarse dos o más veces, dando lugar a la realización de un circuito impreso provisional para alojar las primeras cuatro etapas del filtro ya que el número de

tabletas de experimentación hacían prácticamente imposible su manipulación. Las primeras versiones del filtro "por codificación" contenían más de 60 integrados; El prototipo actual "de ventana" no exceda de seis.

Las etapas se diseñaron y construyeron en el siguiente orden:

Digital:

Programador del filtro	(Plano A8)
Panel de control	(Plano A6)
Frecuencímetro	(Plano A2)
Comparadores	(Plano A5)

Mixta:

Controlador	(Plano A4)
-------------	------------

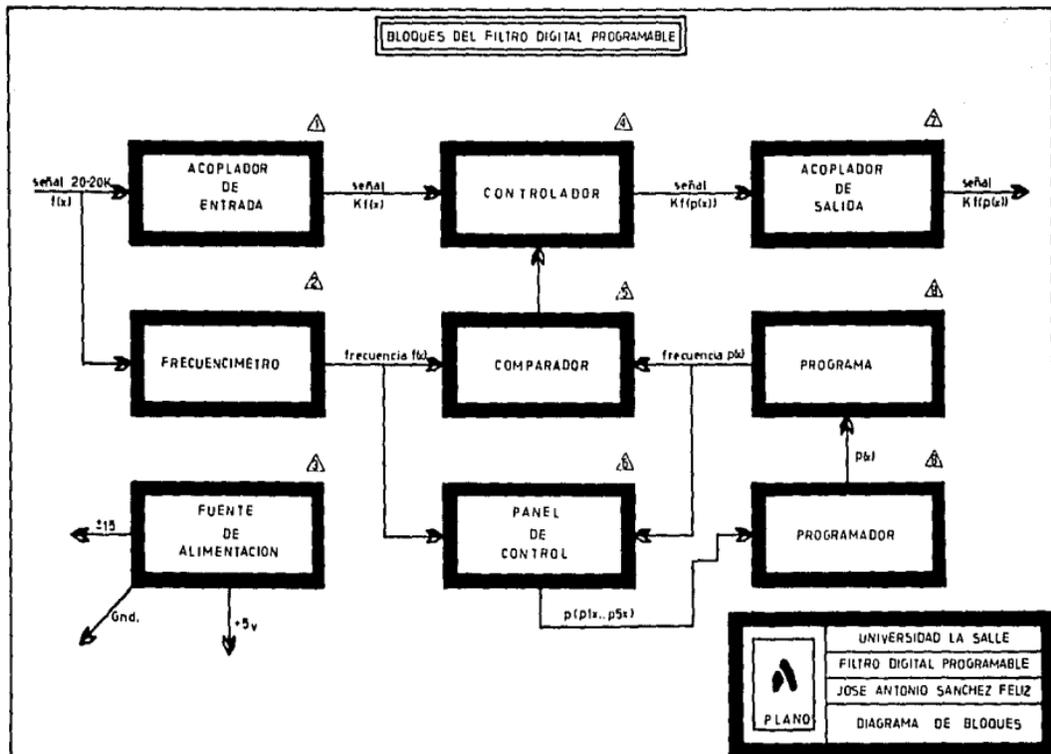
Analógica:

Acoplador de entrada	(Plano A1)
Acoplador de salida	(Plano A7)
Fuente de alimentación	(Plano A3)

A continuación se explica el funcionamiento de cada etapa del filtro.

EXPLICACION GENERAL DE FUNCIONAMIENTO:

La señal de entrada al filtro es aplicada a un acoplador, en esta etapa se controla la ganancia o nivel de señal para mantenerla dentro de un margen tolerable para los circuitos que la digitalizan. De ahí la señal pasa a un detector de cruce por cero mis-



mo que activa a los monoestables del frecuencímetro para cargar el conteo en los latches o borrar los contadores inicializándolos para un nuevo conteo. La señal almacenada en los latches es comparada digitalmente con la señal almacenada como programa en otra serie de contadores, de esta serie de comparadores se obtienen tres líneas resultantes que se pondrán en uno lógico dependiendo si la frecuencia almacenada en los contadores (programa) es menor, igual o mayor a la frecuencia retenida en los latches (frecuencia de entrada) estas tres señales en combinación con el switch de tipo de corte pasan a una serie de compuertas que determinan si se cumplen o no las condiciones programadas. En caso de cumplirse, se activará una señal de paso, de lo contrario una de corte. Esta señal de paso es aplicada a un circuito de conmutación electrónica y permitirá o no el paso de la señal a la etapa de acoplamiento de salida. En la etapa de salida, es posible el control de ganancia de esta señal compensando así las pérdidas de las señales cortadas o interrumpidas por el filtro. En el panel de controles es posible la visualización del nivel de entrada de la señal, así como la ganancia en la señal de salida, se localizan los controles de programación y los indicadores del sistema, además de una caratula digital donde se toma lectura de la frecuencia de entrada o la programada según el caso.

EL PROGRAMADOR.

El programador del filtro es una etapa que tiene por objeto establecer la frecuencia de corte del filtro. Se compone de dos

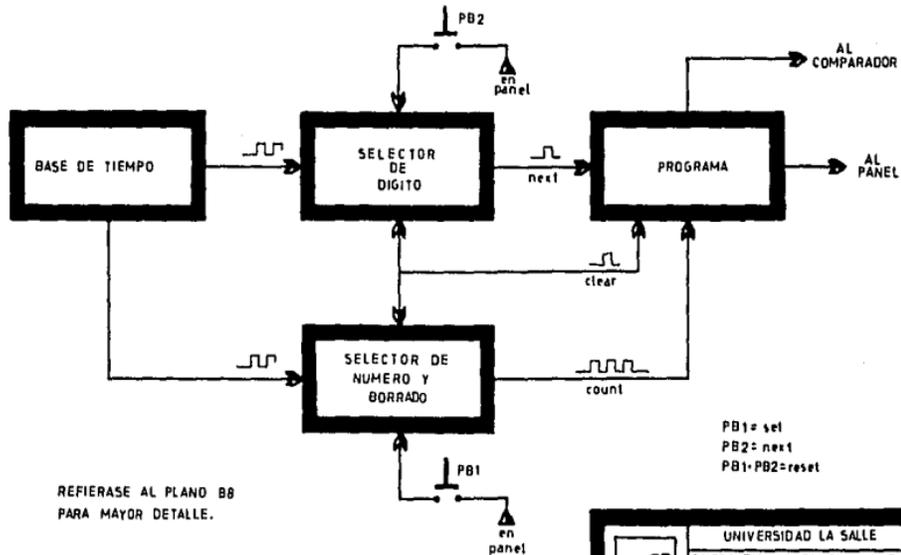
sub-etapas:

El programador en sí; y el dispositivo de almacenamiento de los dígitos programados o información retenida.

El programador del filtro está directamente relacionado con el panel de controles, pues es ahí donde se encuentran los elementos interruptores para modificar el contenido de las memorias.

En el programador se elijen dos tipos de funciones diferentes; La frecuencia de corte del filtro y el tipo de corte a efectuarse. La frecuencia de corte, como se había mencionado, es guardada en una memoria que en este caso consiste en cinco contadores tipo SN74LS90; estos contadores alteran el estado lógico de sus salidas enviando los cuatro bits, en paralelo a los comparadores. Los dígitos programados son cinco; ello implica un total de 20 bits de información que llega al comparador procedente del programa. La forma en que se altera la salida de los contadores para modificar el programa, es a través de una serie de compuertas lógicas alimentadas por una parte, con la señal de un decodificador binario a decimal quien a su vez recibe información de un contador. Este contador determina el dígito a programar, funcionando como habilitador del conjunto de compuertas que modifican el estado de los contadores que contienen la información. Por otro lado mediante una señal enviada al oprimir un pulsador, se incrementa el valor de otro contador dando lugar a que la decodificación habilite al siguiente dígito. Con otro pulsador, al que también llega una señal de aproximadamente 1 Hz. alteramos

BLOQUES DEL PROGRAMADOR



REFIERASE AL PLANO 88
PARA MAYOR DETALLE.

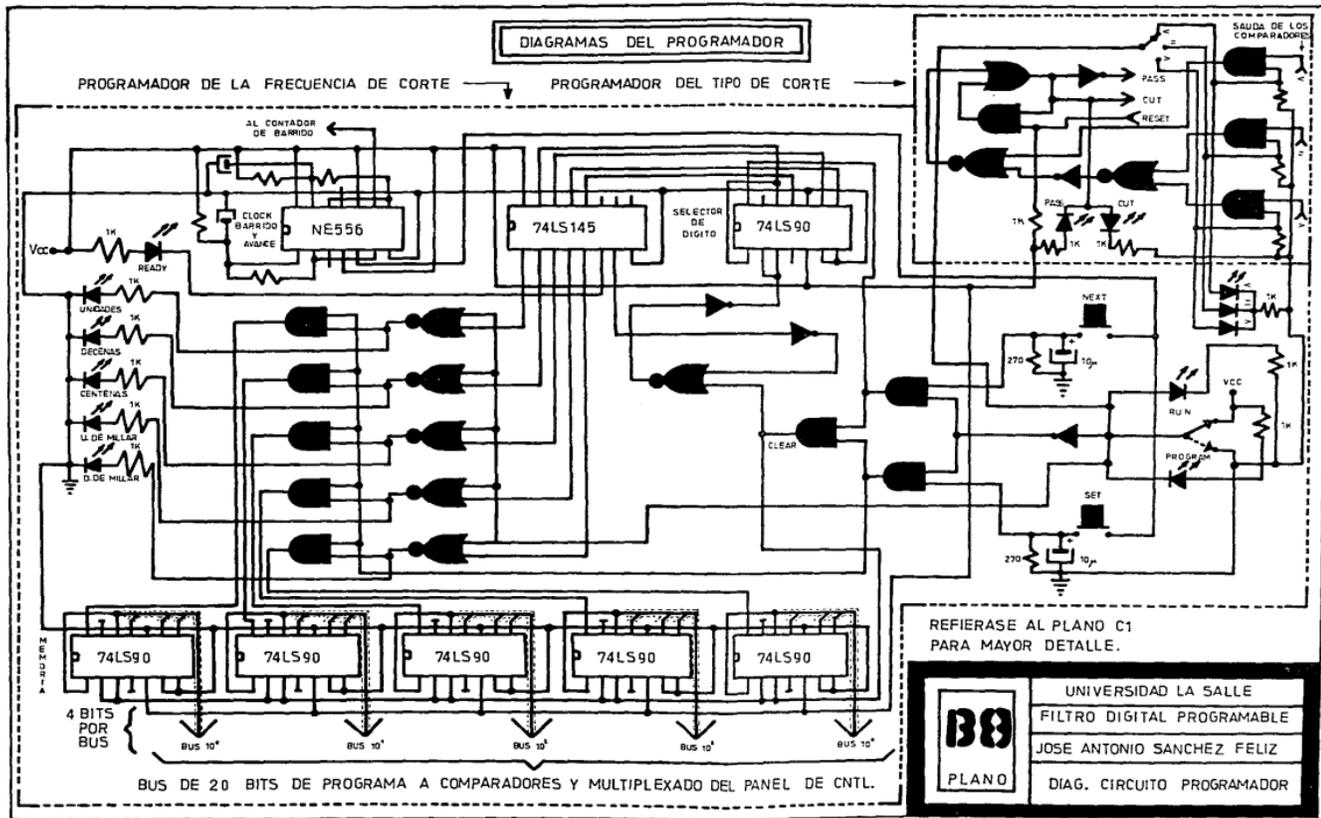
49

 PLANO	UNIVERSIDAD LA SALLE
	FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
	JOSE ANTONIO SANCHEZ FEUZ
	BLOQUES DEL PROGRAMADOR

el contenido del contador de cada dígito; en este caso el del dígito habilitado. Las señales que van hacia el comparador también son alimentadas al panel de control para ser desplegadas en la carátula; además, se envía un señal piloto a un led indicando el dígito que está habilitado para programarse. El sistema tiene un conmutador de dos posiciones; posición de programación y posición de ejecución; este conmutador habilita la función de la etapa de programación o la de la etapa de comparación. Así el filtro no trabaja mientras está siendo programado, o mientras se encuentra en operación la frecuencia de programa no puede ser alterada accidentalmente al oprimir algún pulsador. El sistema de programación concebido originalmente, poseía un pulsador para incrementar cada dígito, pero esto no sólo era más costoso, sino que también implicaba mayor número de pistas en los impresos.

La otra función en el programador (elegir el tipo de corte a efectuarse), se asigna mediante un conmutador de tres posiciones: Menor o función del filtro paso bajo, Igual o paso único y Mayor o paso alto; La salida de este conmutador alimenta por un lado, los indicadores en la carátula para mostrar la función asignada, y por otro, a un grupo de tres compuertas "Y" que forman parte del controlador.

El plano B8 nos muestra con mayor detalle, los diagramas de dicho programador. A continuación en la Fig. 5.1 se muestran las tablas de verdad del conjunto de compuertas que habilitan los contadores del programador.



DIAGRAMAS DEL PROGRAMADOR

PROGRAMADOR DE LA FRECUENCIA DE CORTE PROGRAMADOR DEL TIPO DE CORTE

AL CONTADOR DE BARRIDO

Vcc

READY

CLOCK BARRIDO Y AWAKE

NE555

74LS145

SELECTOR DE DIGITO

74LS90

UNIDADES

DECENAS

CENTENAS

MILAR

MILLAR

CLEAR

NEST

270

10µ

VCC

RU N

PROG

270

10µ

SAIDA DE LOS COMPARADORES

REFIERASE AL PLANO C1 PARA MAYOR DETALLE.

PROGRAMADOR

4 BITS POR BUS

BUS 10⁴

BUS 10⁴

BUS 10⁴

BUS 10⁴

BUS 10⁴

BUS DE 20 BITS DE PROGRAMA A COMPARADORES Y MULTIPLEXADO DEL PANEL DE CNTL.

38
PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE
 FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
 JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ
 DIAG. CIRCUITO PROGRAMADOR

FIGURA 5.1 HABILITADOR DEL PROGRAMADOR (CONTROL)

ELEM.	POSICION	ACCION:
SW 1	RUN	FUNCION DE FILTRO
	PRD.	PROGRAMACION
SW 2	<	PASO BAJAS
	=	PASO UNICO
	>	PASO ALTAS
PB 1	SET	INCREMENTO DE DIGITO
	X	NULA
PB 2	NEXT	SIGUIENTE DIGITO
	X	NULA
PB 3	TEST	PRUEBA SEGMENTOS DIS.
	X	NULA

TABLA DE CONTROLES

ELEM.	INDICACION:
OSP 1-5	PERIODO DE ENTRADA (SW1 RUN) PERIODO PROGRAMADO (SW1 PRD.)
L1-L3	DIGITO HABILITADO PARA PROGRAMACION
L5	FILTRADO
L7	PROGRAMANDO
L9	PROGRAMACION LISTA
L9	FILTRO PASO BAJAS
L10	FILTRO PASO UNICO
L11	FILTRO PASO ALTAS
L12	INDICACION DE PASO
L13	INDICACION DE CORTE
L	INDICADOR DE ENCENDIDO
VU 1	GANANCIA DE ENTRADA
VU 2	GANANCIA DE SALIDA
CHT 1	CONTROL DE GANANCIA DE ENTRADA
CHT 2	CONTROL DE GANANCIA DE SALIDA

TABLA DE INDICADORES

Como puede observarse en el plano C1, (Diagramas generales); si ambos pulsadores del programador se oprimen simultaneamente, con el selector en posición programación esto permitirá el borrado o puesta en cero tanto de las memorias como del habilitador de programa. Esta otra modificación en el diseño nos procura otro ahorro en componentes.

PANEL DE CONTROLES:

En el panel de controles reside la carátula de despliegue; también aloja los interruptores de programación, indicadores de estado del sistema, selectores de funciones del filtro, encendido y apagado, etc.

El panel de control recibe y envía señales a todo el sistema, manteniendo así al operador informado, de lo que sucede durante el filtrado de la señal. El plano A6 detalla el funcionamiento a bloques de esta etapa.

El distribuidor de información en conjunto con el habilitador de dígitos y la base de tiempo de 2KHz. aprox. forman lo que conocemos como un sistema de renovación de la información, lo cual permite manejar los cinco dígitos desplegados en serie; enviando la información decodificada simultaneamente a todos, pero habilitando únicamente el dígito en el cual debe aparecer dicha información.

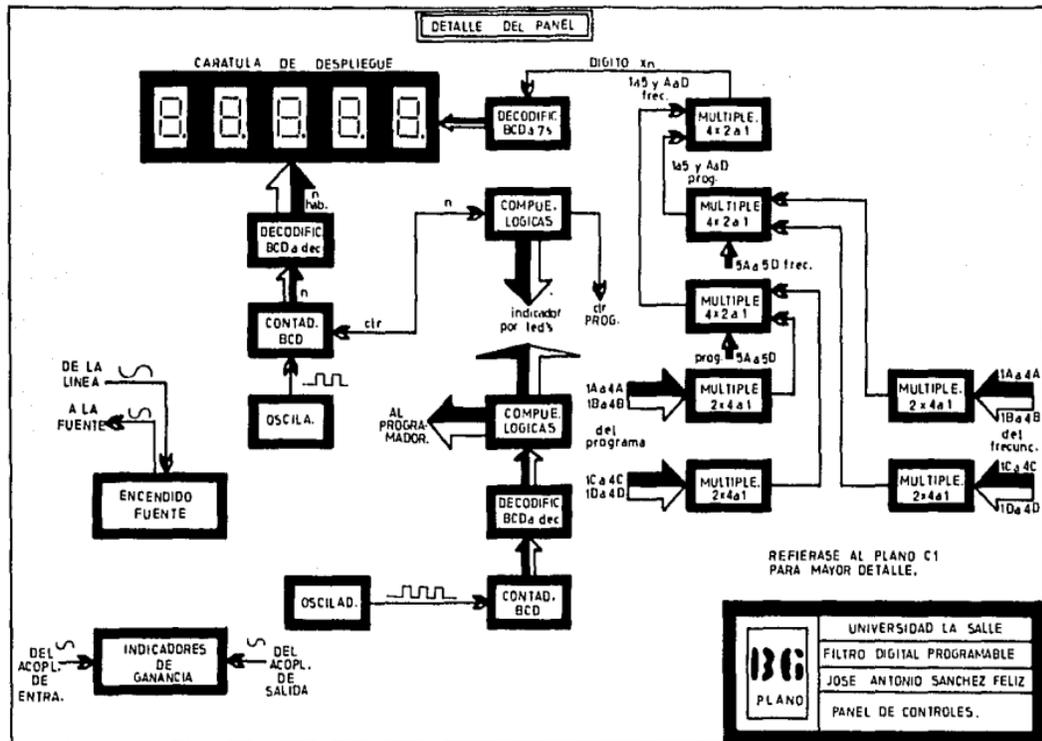
Posiblemente la parte más compleja de esta etapa, sea el mul

tiplexor de información; quién recibe a su entrada cuarenta bits (20 del programa y 20 del frecuencímetro) y tan sólo entrega los cuatro correspondientes al dígito a desplegar. Este mismo sistema de multiplexado, que fue elegido entre cuatro tipos diferentes; pudo también usarse en la etapa del comparador y la memoria reduciendo increíblemente el número de componentes y la cantidad de pistas, sin embargo la velocidad de respuesta quedaría reducida a la quinta parte.

El plano B6 detalla la conexión de multiplexores. El hecho de utilizar la combinación de multiplexores cuádruples de dos - entradas y una salida y dobles de cuatro entradas a una salida, resulta más económico y comercial que utilizar multiplexores de ocho entradas a una salida ocupando sólo cinco de estas entradas, y posteriormente pasar a multiplexar dos a uno, para elegir entre despliegue del programa o del frecuencímetro.

Para sincronizar el despliegue con la información multiplexada; el direccionamiento de los multiplexores se realiza en paralelo con la habilitación de dígito en la carátula, a excepción del último multiplexado encargado de seleccionar si la información proviene de la memoria, o del frecuencímetro; Pues este direccionamiento se hace a través del selector de programación o ejecución.

La velocidad de barrido de la información desplegada no afecta en absoluto al funcionamiento del filtro, pues es totalmente independiente. Si nosotros variamos la velocidad de este barrido



do, únicamente alteraremos la intensidad de luz en los dígitos, aunque una velocidad de despliegue muy lenta produciría un parpadeo en los mismos. En el prototipo existe poca intensidad de luz del despliegue, ello no se debe a la velocidad de barrido, sino a la corriente conducida por los circuitos decodificadores que alimentan los dígitos.

Una solución a este problema consiste en proveer a cada dígito de una fuente de corriente, piloteada con la señal de salida de los decodificadores através de la base de un transistor cuyo colector se conecta directamente a Vcc y su emisor a los dígitos. El transistor funcionará al igual que todos los circuitos como interruptor, trabajando en corte o saturación, Fig. 5.2.

Las acciones de control del filtro quedan detalladas, Fig. - 5.3.

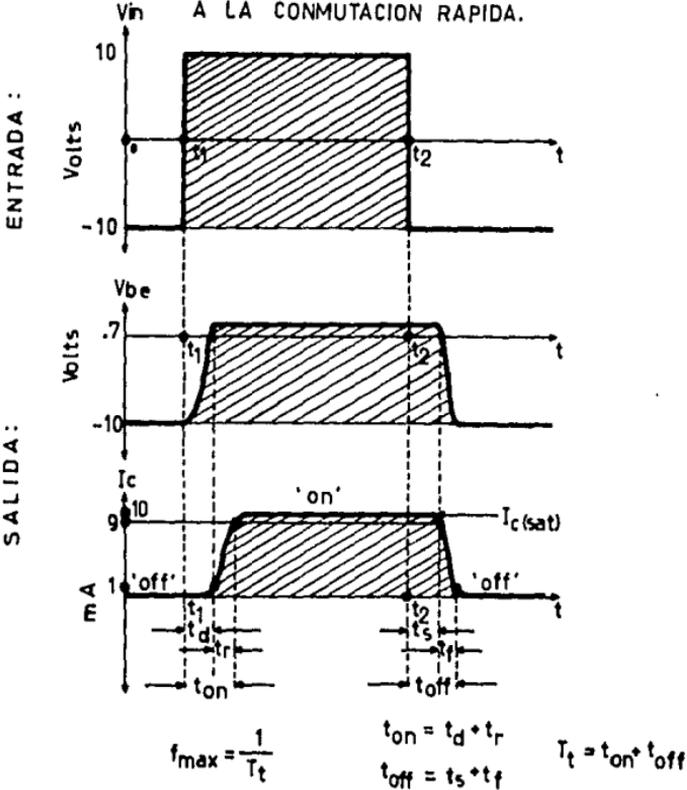
Los VU o medidores de ganancia simplemente muestran el nivel de entrada y salida de la señal; pues las etapas de acoplamiento nos permiten modificar la ganancia para compensar la atenuación producida por aquellas frecuencias que el filtro cortó.

Aunque los acopladores son etapas aparte; los indicadores y potenciómetros están localizados en la misma tarjeta de control.

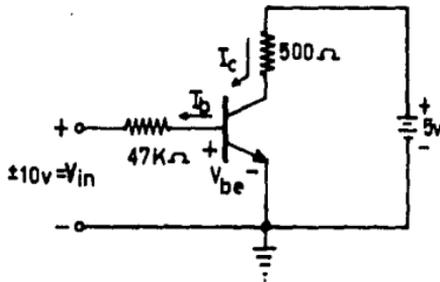
EL FRECUENCIMETRO:

Esta etapa del filtro, determina la frecuencia o el periodo

OPERACION Y RESPUESTA DEL TRANSISTOR
A LA CONMUTACION RAPIDA.



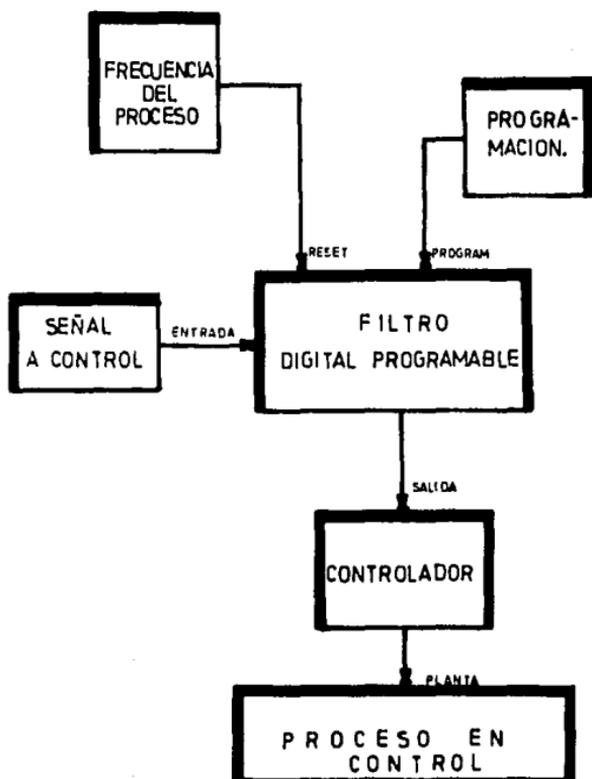
Circuito utilizado :



$$I_c(sat) = \frac{5v}{500\Omega}$$

$$= 10mA$$

FIGURA 5.3 ACCION DE CONTROL DEL FILTRO:



de la señal de entrada; la información de este frecuencímetro es alimentada en forma digital a los comparadores; el funcionamiento de carga, borrado y conteo es el método convencional de muestreo y disparo.

Un detector de cruce por cero, genera los pulsos piloto que habrán de disparar dos monoestables; Uno encargado de pasar la información de los contadores a las memorias temporales y el otro de borrar los contadores para iniciar nuevamente el conteo. La precisión de esta etapa la determina su base de tiempo, que consiste en un oscilador a cristal de cuarzo dividiendo su frecuencia mediante contadores hasta 100 MHz. Esta frecuencia o tren de pulsos es alimentada a los contadores dando como resultado la lectura del período de la señal de entrada.

El conteo de la señal para determinar su período tiene un inconveniente para la operación del filtro; el controlador NO puede actuar sobre el conmutador, que permite o no el paso de la señal, hasta haber efectuado la comparación de frecuencias y la frecuencia de entrada no es determinada sino hasta un ciclo después. En el caso de la frecuencia más baja (20 ciclos) será hasta después 0.05 segundos cuando dicha frecuencia ha sido determinada, o para la frecuencia más alta (20K ciclos) será 0.05 milisegundos; lo cual implicaría una memoria con tiempo de almacenaje variable dependiendo de cada señal, para así no perderla mientras se conmuta.

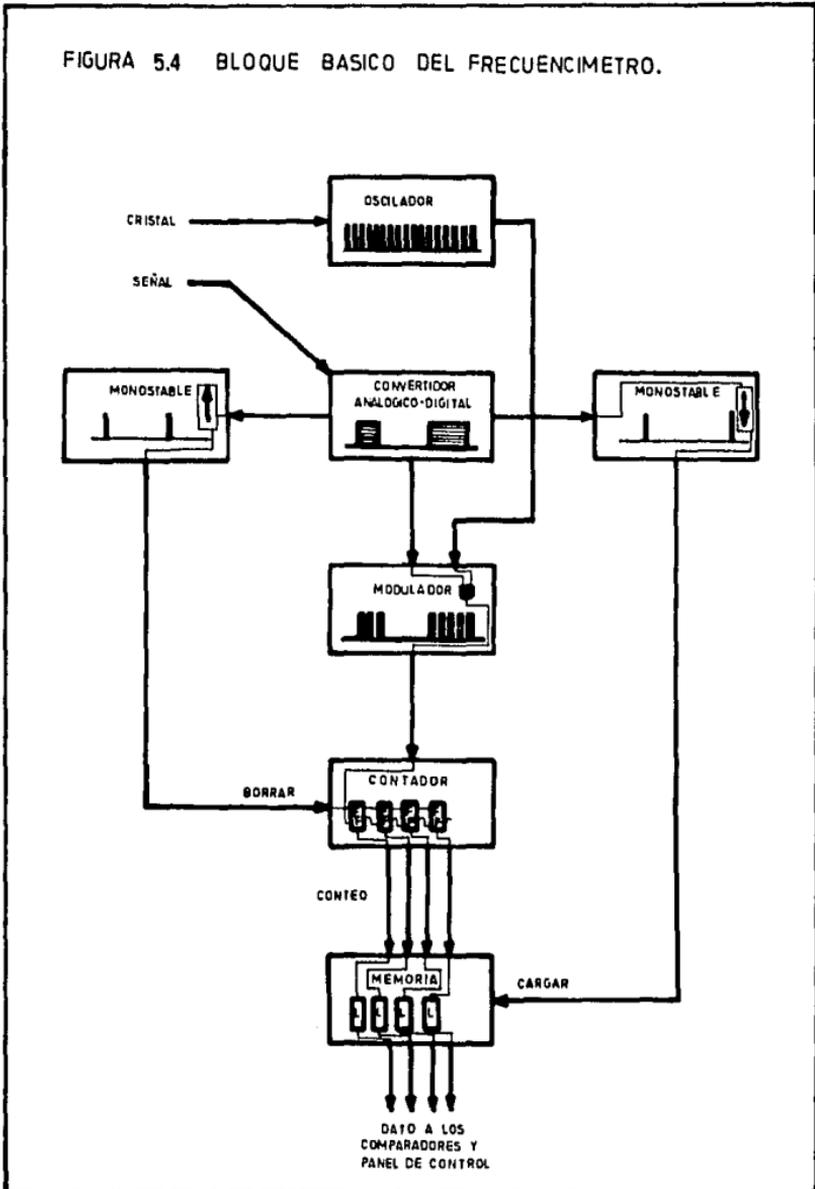
Procurando solución a este problema, surgió la idea de un -

convertidor analógico digital que muestreará la señal sin esperar un ciclo completo.

Con este convertidor el filtro no tiene la necesidad de diferenciar las señales, por lo cual, el primer cambio de signo de la pendiente de la señal, mandaría uno lógico (equivalente al del detector de cruce por cero). Este convertidor A/D denominado "detector de máximo y mínimo". Resuelve el problema de manejar señales prácticamente de cualquier tipo (senoidales, -dientes de sierra, cuadradas, etc.) por otra parte dichas señales pueden o no cruzar por el eje de cero volts, pueden ser irregulares y no es necesario un conmutador externo para seleccionar el tipo de señal de entrada. El problema consiste en la necesidad de esperar un máximo y un mínimo para determinar la frecuencia; Intentando dar solución a este problema se diseñó un circuito de retardo proporcional a la frecuencia de la señal. Para no romper con las propuestas en el diseño del filtro, almacena frecuencias comprendidas entre 20 y 20K Hz. sin distorsionarl^{as} en más 1%. El circuito básico consiste en dos paquetes de 512 bits cada uno de memoria; esta memoria analógica puede responder a ese rango de frecuencias a una distorsión menor al 1%, aunque su costo es de alrededor de 12 D11. lo cual implica un aumento muy considerable en el precio del filtro.

Cuando surgió la idea de la ventana de frecuencia este sistema se integró al segundo prototipo dando excelentes resultados experimentales, en el filtrado de señales generadas simétricamente.

FIGURA 5.4 BLOQUE BASICO DEL FRECUENCIMETRO.



El frecuencímetro, no representa ningún problema; esta formado por cinco etapas en cascada (una por dígito), cada una de las etapas consiste en un contador binario, y un 'latch' o dispositivo de almacenamiento. La entrada de 'enable' o activador de todas las memorias se encuentran en paralelo y van a uno de los monoestables y de la misma forma todas las entradas de borrado de los contadores, al otro monoestable.

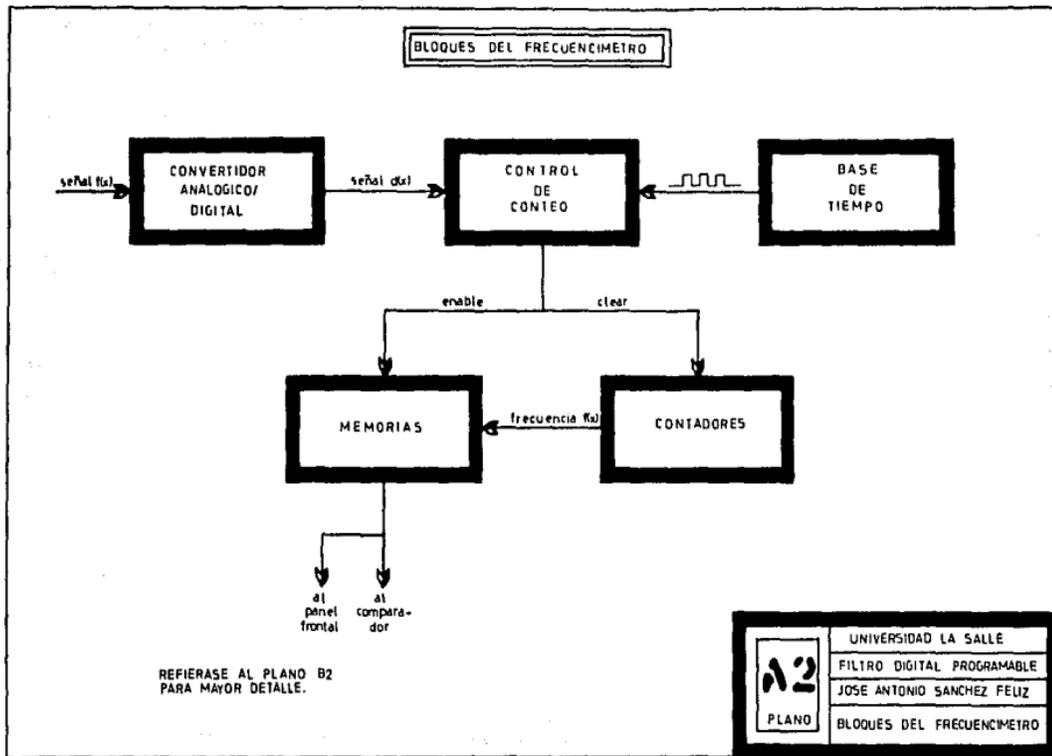
El circuito que aparece en la Fig. 5.4 es la base de conteo y almacenamiento del frecuencímetro (idéntico para cada dígito).

El plano A2 nos permite analizar el funcionamiento a bloques del frecuencímetro. Su diagrama electrónico lo encontramos en de talle en el plano B2.

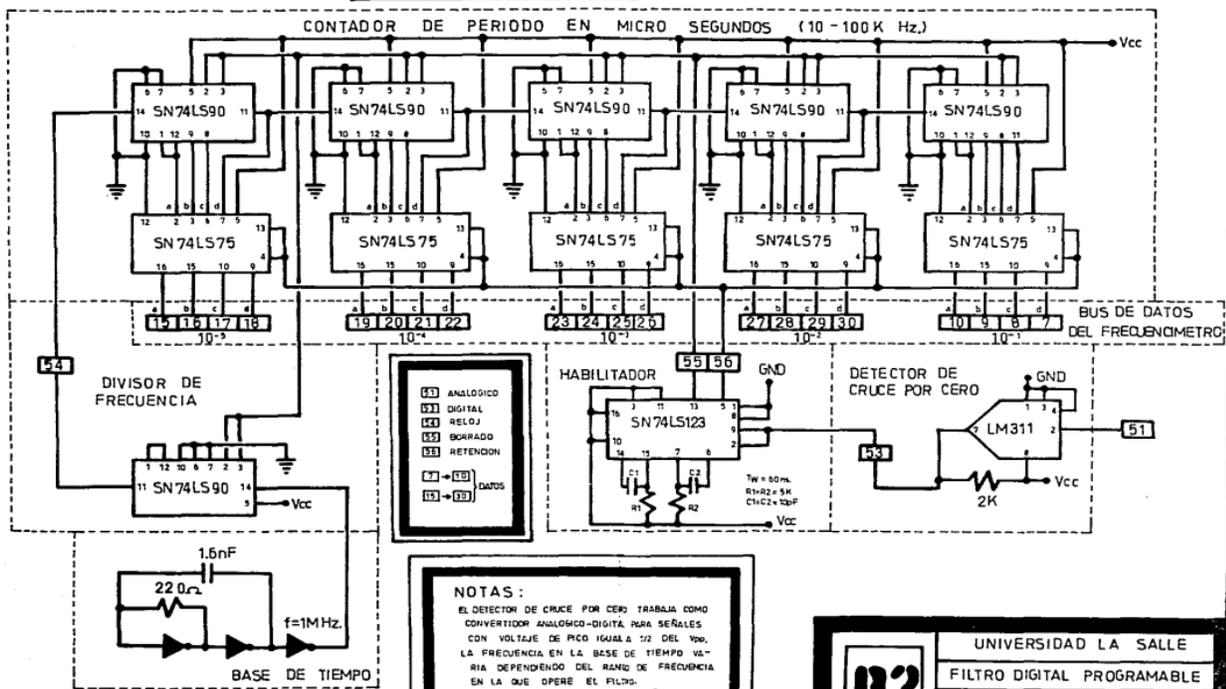
Es necesario aclarar que el sistema económico de filtro no incluye el frecuencímetro, sino el sistema de ventana de frecuencia controlada por monoestables; Sin embargo el prototipo se ha realizado como un equipo de alta precisión y con una flexibilidad superior al filtro digital convencional, por tales motivos, el frecuencímetro permite no sólo una exactitud en el corte mayor a la del filtro "de ventana" sino que además nos entre ga la información de la señal de entrada también de una forma digital; permitiendo así, su despliegue en la carátula y además, su comunicación con un microprocesador para efectos de control.

LOS COMPARADORES:

Esta es una de las etapas de mayor importancia del filtro,



DIAGRAMAS GENERALES



02
PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE
 FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
 JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ
 CIRCUITO DEL FRECUENCIMETRO

es en ella donde se decide la acción de control sobre el conmutador de salida. En el caso particular del prototipo, estos comparadores están armados en cascada de forma tal que permiten el aprovechamiento máximo de los integrados, haciendo la comparación de los veinte bits de programa contra los veinte del frecuencímetro en cualquiera de sus tres opciones (mayor, menor o igual).

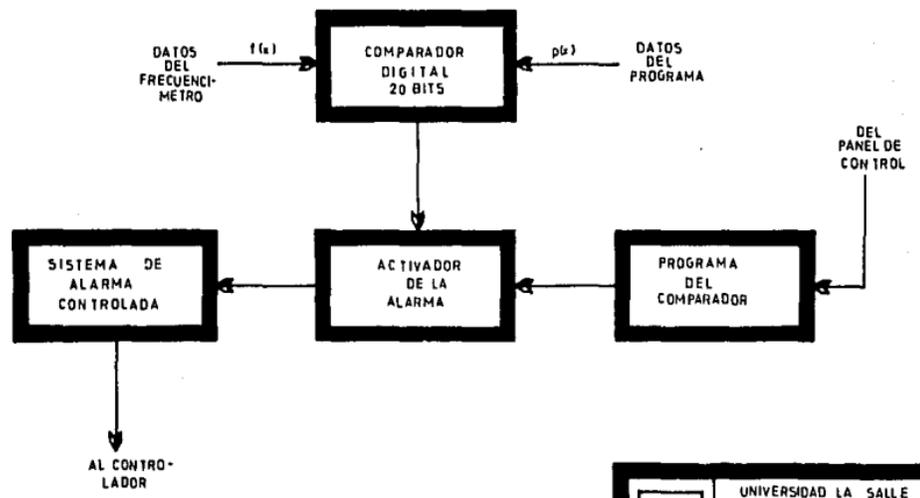
El funcionamiento a bloques de esta etapa se muestra en el plano A5. Tanto el activador de alarma como el sistema de control de alarma son los elementos que permiten la variación de tiempo en la conmutación dependiendo de la frecuencia de la señal, manteniendo la condición anterior del conmutador (abierto o cerrado) hasta que la frecuencia comparada rompa las condiciones de programa.

Los comparadores digitales consisten en una serie de compuertas 'y' y '0' combinadas con '0-exclusivo' estas compuertas efectúan la comparación bit a bit de toda la información, y se encuentran comercialmente en el integrado SN74LS85 dispuestas en forma de comparadores de 4 bits, con la posibilidad de conexión en cascada, mediante las entradas mayor, menor e igual dotadas para este fin.

En la fig. 5.5 mostramos la configuración básica del comparador de 4 bits.

Para el caso de la versión económica, la comparación de fre-

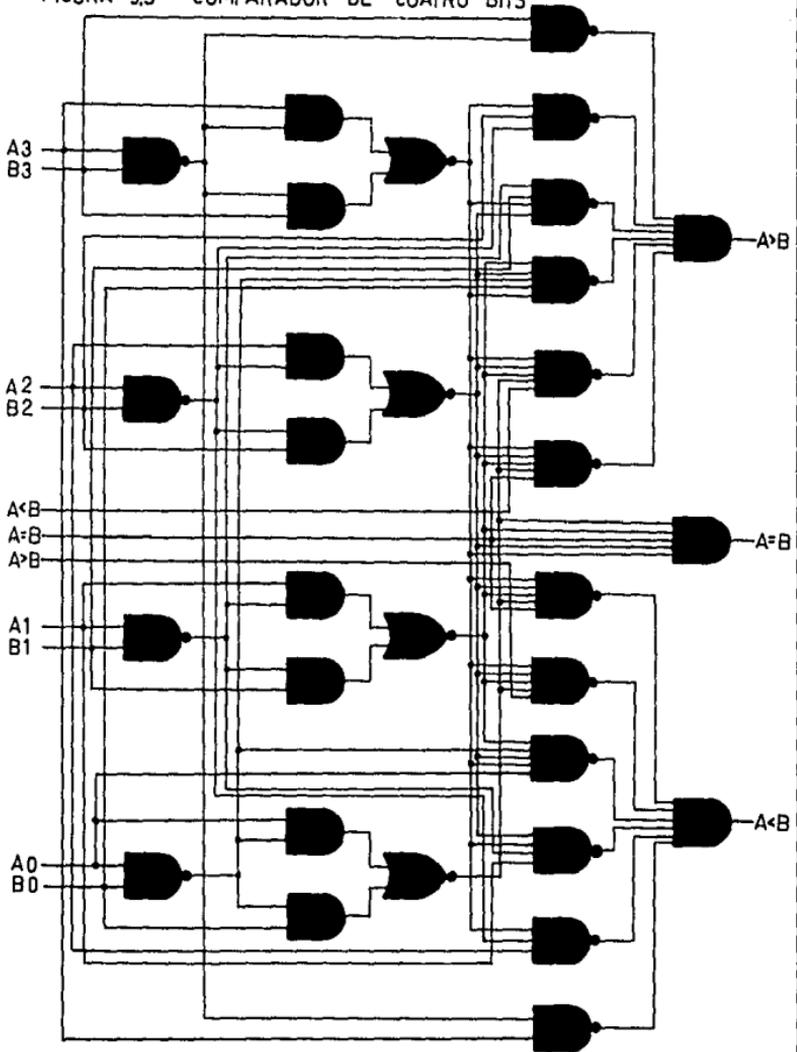
BLOQUES DEL COMPARADOR DIGI.



REFIERASE AL PLANO B5
PARA MAYOR DETALLE.

	UNIVERSIDAD LA SALLE
	FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
	JOSE ANTONIO SANCHEZ FELZ
	BLOQUES DEL COMPARADOR

FIGURA 5.5 COMPARADOR DE CUATRO BITS



SN 74LS85

cuencias no se efectúa con manejo de información (bits codificados), sino directamente através de compuertas con las señales. La configuración básica para armar una ventana de frecuencia y su tabla de verdad, se muestran en la figura 3.3. (capítulo III).

EL CONTROLADOR:

La etapa del controlador está integrada por un conmutador de tipo electrónico, piloteado por un pulso digital que establece la condición de "uno" = cerrado y "cero" = abierto. Es importante la velocidad de respuesta de este circuito de conmutación, así como el aislamiento logrado entre la entrada y la salida en el momento de corte; o resistencia de conmutador abierto (Roff).

Existen comercialmente muchos tipos de conmutadores de tipo electrónico; los más comunes son los realizados con tecnologías bi-FET. Estos conmutadores entre otras características, tienen una gran impedancia de entrada, su resistencia de conmutador cerrado es menor a 300 ohmios y la de conmutador abierto es de varios Mega ohmios. Es posible bloquear señales de más de 10 - volts de pico y su tiempo de respuesta es del orden de unos -- cuantos nanosegundos, lo que permite sin problema alguno, su aplicación en el filtro digital.

Es válido realizar un circuito de conmutación formado por transistores TBJ y FET's con características de atenuación al corte mejores y menor resistencia en el momento de conducción.

Los prototipos operan con el conmutador MC14016B OCD 4066BCN

cuyas características aparecen en la figura 5.6.

No importando que tipo de conmutador electrónico se utilice, las características de corte y conducción del circuito se ven sumamente mejoradas al disminuir el ruido de conmutación y la capacitancia con la configuración propuesta en la figura -- 5.7. De esta forma, en el momento en que el conmutador 'a' --- (maestro) se abre, el conmutador 'b' (esclavo) se cierra; mandando el pequeño residuo de señal a tierra através de él. Si el maestro permite la conducción, en conmutador esclavo se abre - quedando así una resistencia de varios Mega-ohmios a tierra. El plano A4 muestra el funcionamiento a bloques del sistema de conmutación, el plano B4 detalla las conexiones del circuito.

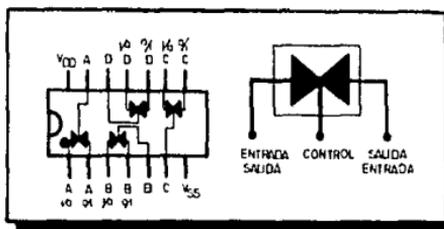
ACOPLADOR DE ENTRADA:

Parte importante del sistema es el acoplador de entrada, cuya función básica es la de aumentar la impedancia de entrada del filtro para evitar de esta manera, que el circuito representa carga a etapas anteriores, distorsionando o causando pérdidas en la señal.

En el diseño de esta etapa se ha obtenido por el uso de amplificadores operacionales que reúnen las características más a proximadas al amplificador ideal, como son: bajo consumo, gran rango de respuesta, impedancia de entrada muy alta, impedancia de salida muy baja (inclusive con protección a corto por tiempo indefinido), ganancia ajustable desde uno hasta mil o más, etc.

FIGURA 5.6 CARACTERÍSTICAS DEL IC4066 :

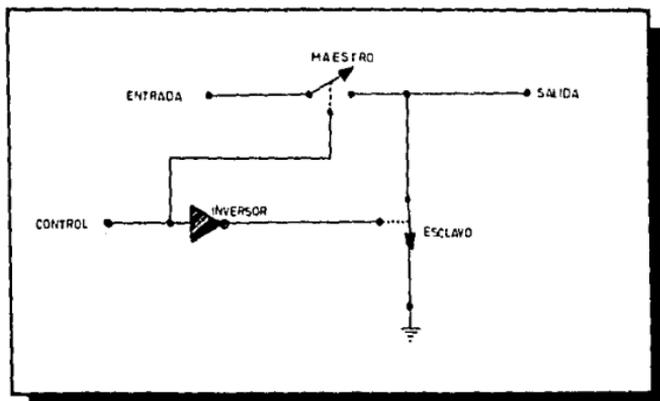
ESQUEMA DEL ENCAPSULADO :



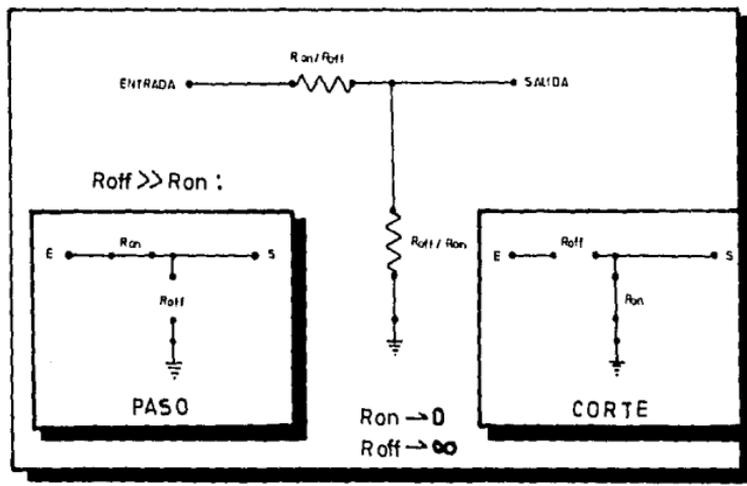
CARACTERÍSTICAS :

CUADRUPLE INTERRUPTOR BILATERAL
 POSIBILIDAD DE TRANSMISION O MULTIPLEXADO
 SEÑALES ANALÓGICAS O DIGITALES
 RESISTENCIA DE CONDUCCION MENOR A 300 OHMS
 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO MAYOR A 10 MEGA OHMS
 ATENUACION TÍPICA DE 90db a 10 vpp - V_{cc} = 15v.
 TRANSFERENCIA DE FRECUENCIAS HASTA DE 4 MEGA Hz.
 TECNOLOGÍA MOS
 ALIMENTACION SIMÉTRICA O REFERIDA A TIERRA

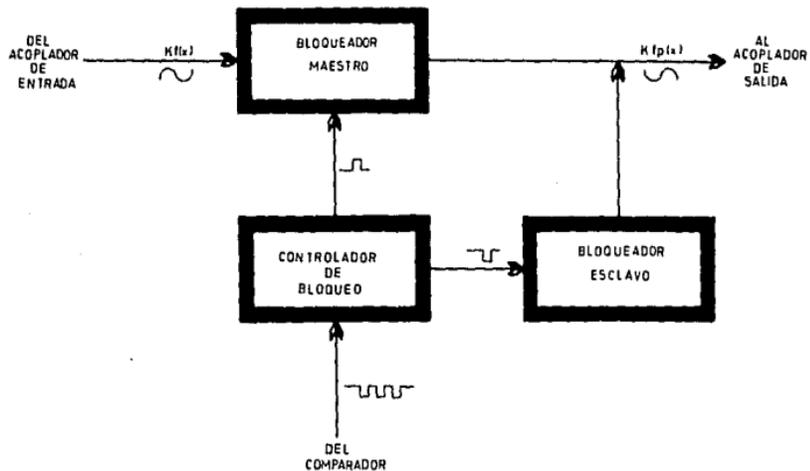
FIGURA 5.7 CONEXION DEL SWITCH "MAESTRO-ESCLAVO";



CIRCUITO EQUIVALENTE :



BLOQUES DEL CONTROLADOR DIGI.

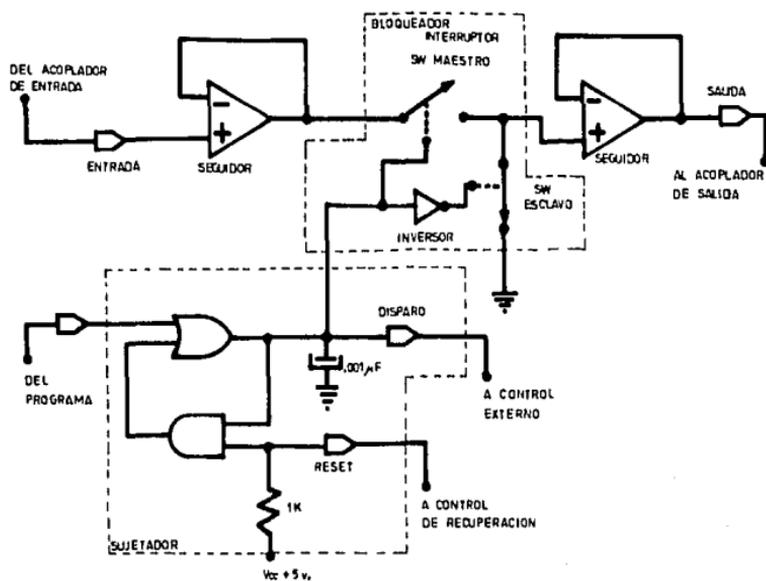


REFIERASE AL PLANO B4
PARA MAYOR DETALLE.



PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE
 FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
 JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ
 BLOQUES DEL CONTROLADOR



139

PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

CONEXIONES AL CONTROLADOR

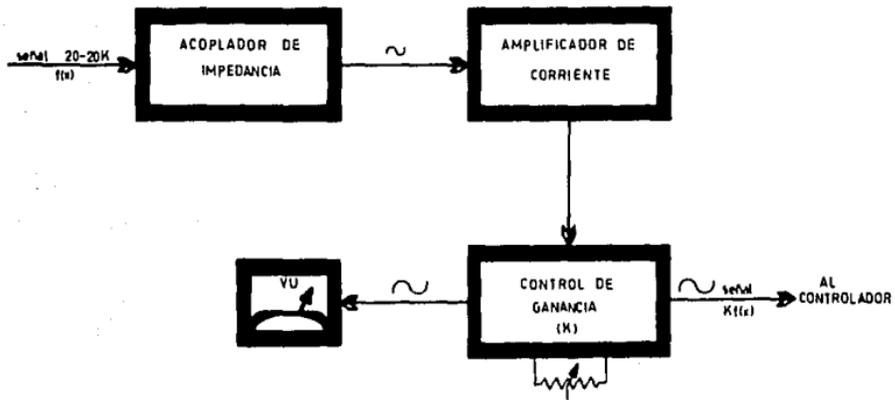
El sistema de acoplamiento propuesto se muestra en el diagrama a bloques A1 y su circuito electrónico es el detallado en el plano B1.

La señal aplicada al filtro, llega a un amplificador operacional de uso general en la configuración básica de seguidor de voltaje acoplada através de un capacitor de tantalio para evitar al máximo fugas de corriente, este amplificador con retroalimentación negativa proporciona la impedancia de entrada alta y suministra suficiente corriente a la señal para las etapas posteriores que forman el circuito de control de ganancia con un segundo amplificador pero en cuyo caso la retroalimentación es limitada por un potenciómetro el cual se localiza en el panel de control. Es posible controlar la ganancia de este segundo amplificador - desde uno hasta diez, lo cual es un margen aceptable para la mayoría de las señales que se le suministraran al filtro en la etapa experimental.

Para conocer el nivel de las señales suministradas al filtro, en la etapa de entrada se a incluido un detector de nivel, formado por comparadores de voltaje que ejercen un switcheo sobre una serie de leds indicadores; Con ello, podremos evitar la saturación de los componentes del filtro por señales con nivel de voltaje demasiado elevado.

En esta etapa deben de considerarse los valores máximos y mínimos de la señal a filtrarse, pues de lo contrario, señales muy tenues no podrían ser detectadas por el filtro, y por el contra-

BLOQUES DEL ACOPLADOR DE ENTRADA



REFIERASE AL PLANO B1
PARA MAYOR DETALLE.



PLANO

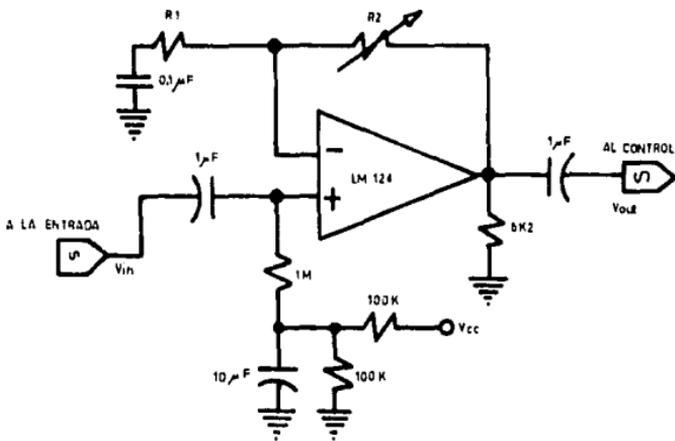
UNIVERSIDAD LA SALLE

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

ACOPLADOR DE ENTRADA

ACOPLADOR AMPLIFICADOR DE AC
NO INVERSOR CON CONTROL DE GANANCIA



$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

131

PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

ACOPLADOR DE ENTRADA

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

rio aquellas que sobrepasasen ciertos límites ocasionarían lecturas erróneas e inclusive daños irreparables al circuito.

Una vez acoplado el filtro a esta señal de entrada, hay que tener en cuenta que la señal puede tener ciertas variaciones - continuas en el tiempo como sucede en las señales analógicas, -- por lo cual debemos convertirla a señal discreta o digitalizarla para evitar errores en el frecuencímetro. El convertidor analógico-digital forma parte del frecuencímetro pero es una etapa de acoplamiento de entrada constituida por un comparador operacional cuya referencia es cero.

Sería conveniente perfeccionar ésta etapa con un circuito compresor. Evitando así que señales de mucha ganancia perjudicaran el funcionamiento: Este circuito de control automático de ganancia se deja a criterio de la aplicación que requiera el filtro.

FUENTE DE ALIMENTACION:

La fuente de alimentación es una fuente sencilla regulada, la regulación del voltaje de alimentación se efectúa mediante un integrado del tipo LM78xx capaz de proporcionar una corriente total de más de un amperio. A pesar de que el consumo total del - circuito no excederá esta corriente, se ha diseñado el prototipo utilizando dos reguladores, evitando de esta forma calentamiento excesivo del dispositivo. Para las etapas de acoplamiento se provee a los circuitos de una fuente simétrica de ± 12 volts, con

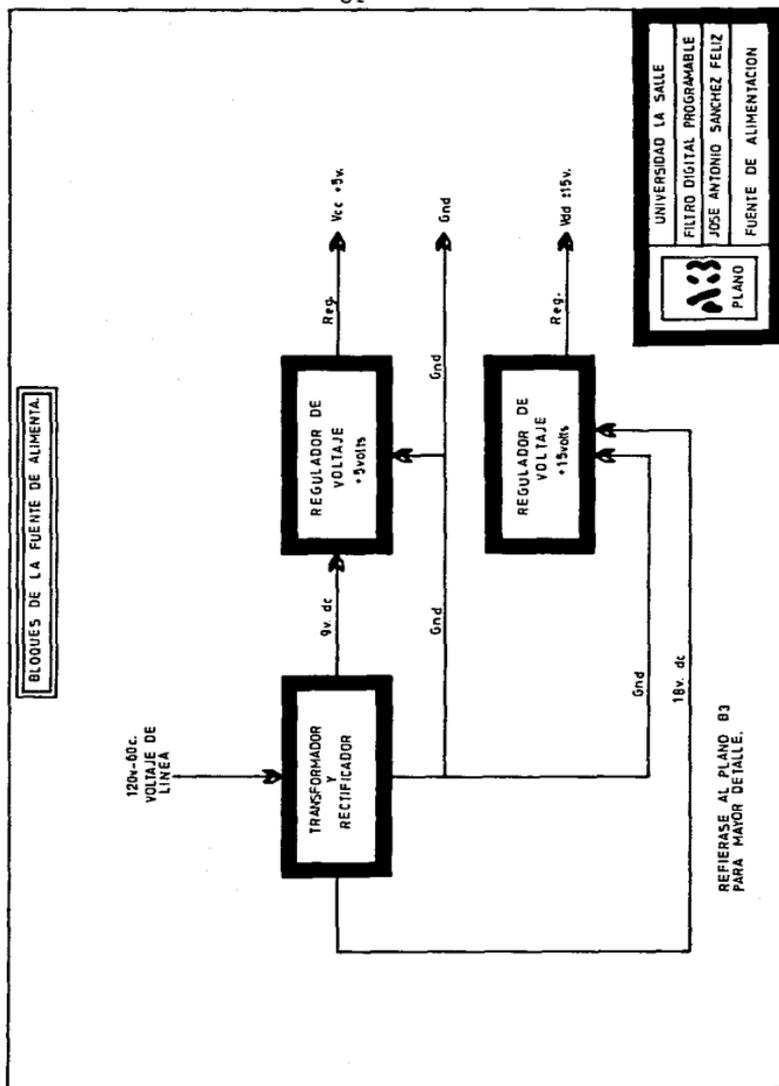
el fin de alimentar los amplificadores operacionales. El objeto de manejar este voltaje, es el de permitir amplificación tanto de señales positivas además de que los circuitos, mejoran notablemente sus características a mayor voltaje de alimentación sin exceder los límites asignados por el fabricante.

El voltaje de línea (120v-60Hz.) es reducido por un transformador y pasa através de un puente de diodos, permitiendo así la rectificación de ciclos completos, no obstante es necesario la colocación de un capacitor electrolítico de valor elevado (mínimo 1000 micro faradios) para eliminar el rizado, así como dos pequeños capacitores de poliéster que sirven como filtro de altas frecuencias parásitas en la línea.

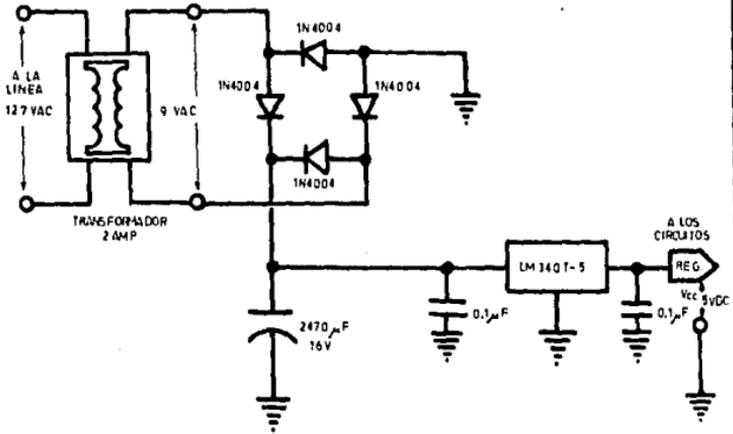
La fuente de alimentación resulta sumamente simplificada con el uso de reguladores integrados, sin embargo puede utilizarse una fuente más sofisticada, por ejemplo: una fuente de switcheo, ideal para el manejo de circuitos de conmutación. Se considera que esta alternativa no es necesaria debido a que el diseño se concentra en el filtro y su funcionamiento dando por hecho que la alimentación de los integrados reúne todas las características necesarias para su óptima operación.

Los diagramas de bloque del plano A3 muestran las fuentes reguladas a +5v para los circuitos integrados TTL y simétricas a ± 12 v para los amplificadores operacionales.

Los diagramas electrónicos se muestran en el plano B3.



FUENTE DE ALIMENTACION REGULADA :



132

PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

FUENTES DE ALIMENTACION

ACOPLADOR DE SALIDA:

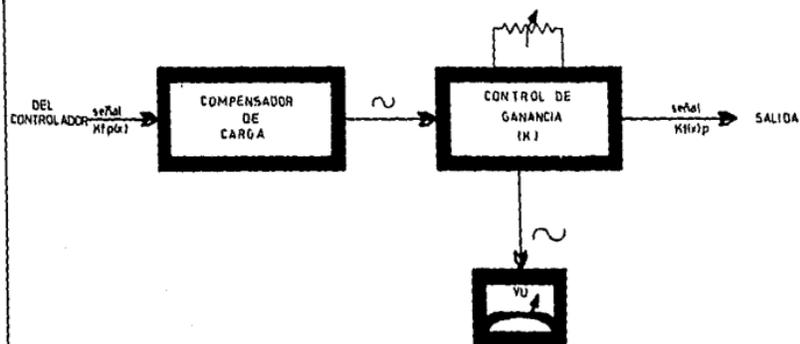
El acoplador de salida es un circuito muy similar al acoplador de entrada, a diferencia de que el control de ganancia se aplica directamente a la señal filtrada. La justificación de éste segundo control de ganancia es que la señal de entrada puede ser una señal independiente a la señal filtrada y las frecuencias -- cortadas por el filtro generalmente reflejarán una pérdida de nivel entre la señal de entrada (frecuencias que pasan+frecuencias cortadas) con respecto a la señal de salida (frecuencias que pasan).

Tanto en la etapa de acoplamiento de entrada como en la de salida, se a elegido un amplificador operacional de uso general pero con la ventaja extra que requiere una sola fuente de alimentación. Esta aclaración es importante pues si se pretende el filtrado de señales con polarización doble, la fuente de alimentación a esta etapa tendrá que ser simétrica para permitir no sólo la amplificación de voltaje positivos sino también negativos con respecto a tierra.

El indicador de nivel de salida detectará únicamente el voltaje positivo de esa señal y podríamos considerarlo como un medidor de pico.

Los diagramas a bloques de éste acoplador de salida se muestran en el plano A7, Detallados posteriormente en el plano B7 - donde se puede consultar sus esquemas electrónicos.

BLOQUES DEL ACOPLADOR DE SALIDA

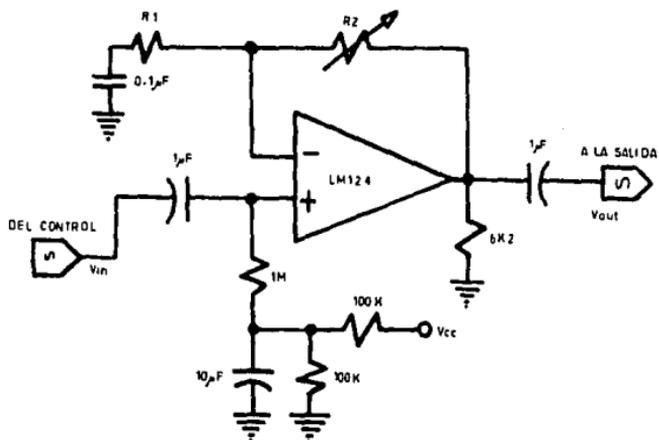


REFIERASE AL PLANO B7
PARA MAYOR DETALLE.

AT
PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE
FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE
JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ
ACOPLADOR DE SALIDA

ACOPLADOR AMPLIFICADOR DE AC
NO INVERSOR CON CONTROL DE GANANCIA



$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

137
PLANO

UNIVERSIDAD LA SALLE

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

JOSE ANTONIO SANCHEZ FELIZ

ACOPLADOR DE SALIDA

DISEÑO DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS:

El filtro digital programable "por codificación", posee un gran número de integrados con compuertas lógicas básicas, por ello ha sido necesaria su división en tres tarjetas impresas que alojan todos los componentes y un panel de controles con carátula al exterior.

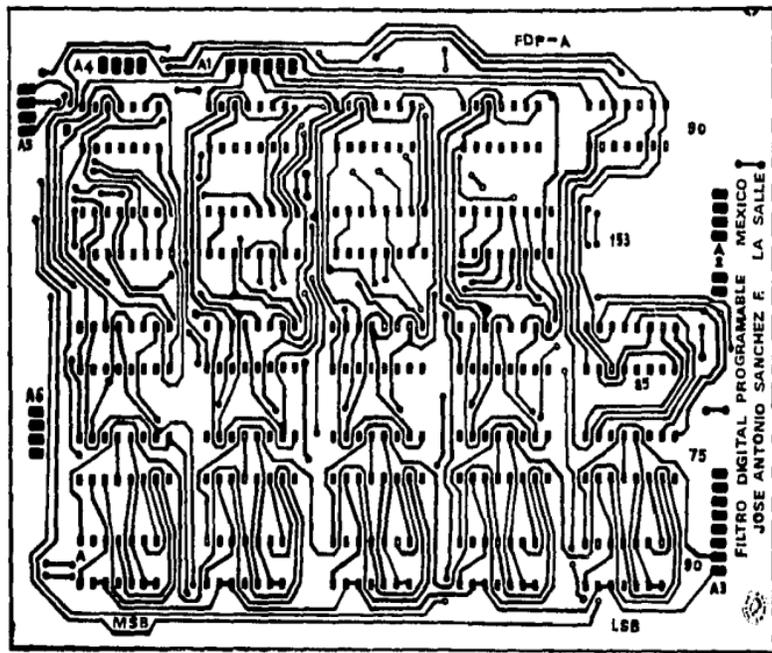
En el caso del filtro digital "de ventana", se requiere únicamente de un pequeño impreso y la calibración se realiza mediante la conexión de aparatos externos como podría ser un osciloscopio.

Se han diseñado los impresos de doble cara y con perforaciones puente llamado normalmente impreso "true hold" reduciéndose así el tamaño de las tarjetas y anulándose los puentes, debido a que el gran número de líneas principalmente en el comparador hacía imposible la realización de éste impreso a una cara.

Se muestran a continuación los impresos a tamaño real (escala 1:1) foto-montados donde se observa en color negro las pistas sobre la cara que se examina, y mediante pantalla las pistas por el lado posterior. Además se detalla el ensamble de componentes sobre los impresos (Montaje mecánico), y se anexa una lista de componentes.

IMPRESO FDP-A :

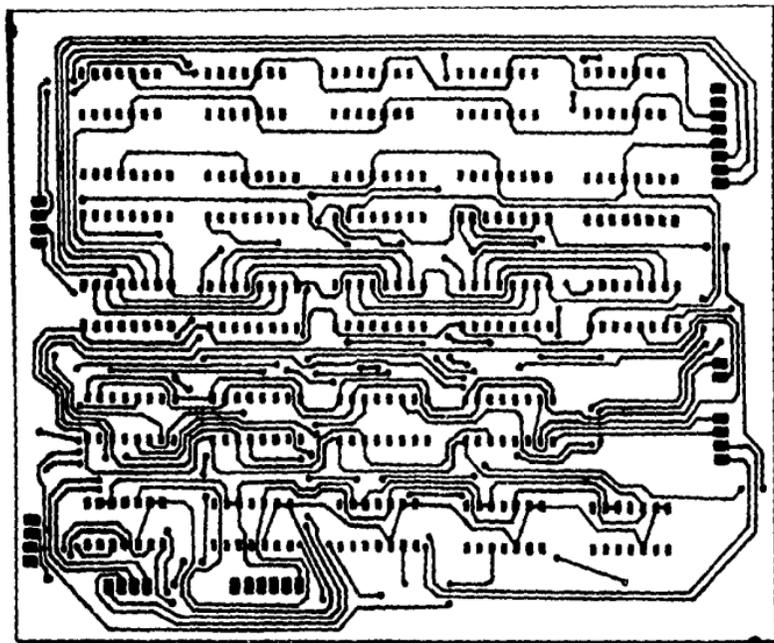
Esta tarjeta contiene los bloques del frecuencímetro, y los



FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE MEXICO
 JOSE ANTONIO SANCHEZ F. LA SALLE

CIRCUITO IMPRESO FDP-A CARA SUPERIOR

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE ESCALA 1:1 LADO COMPONENTES

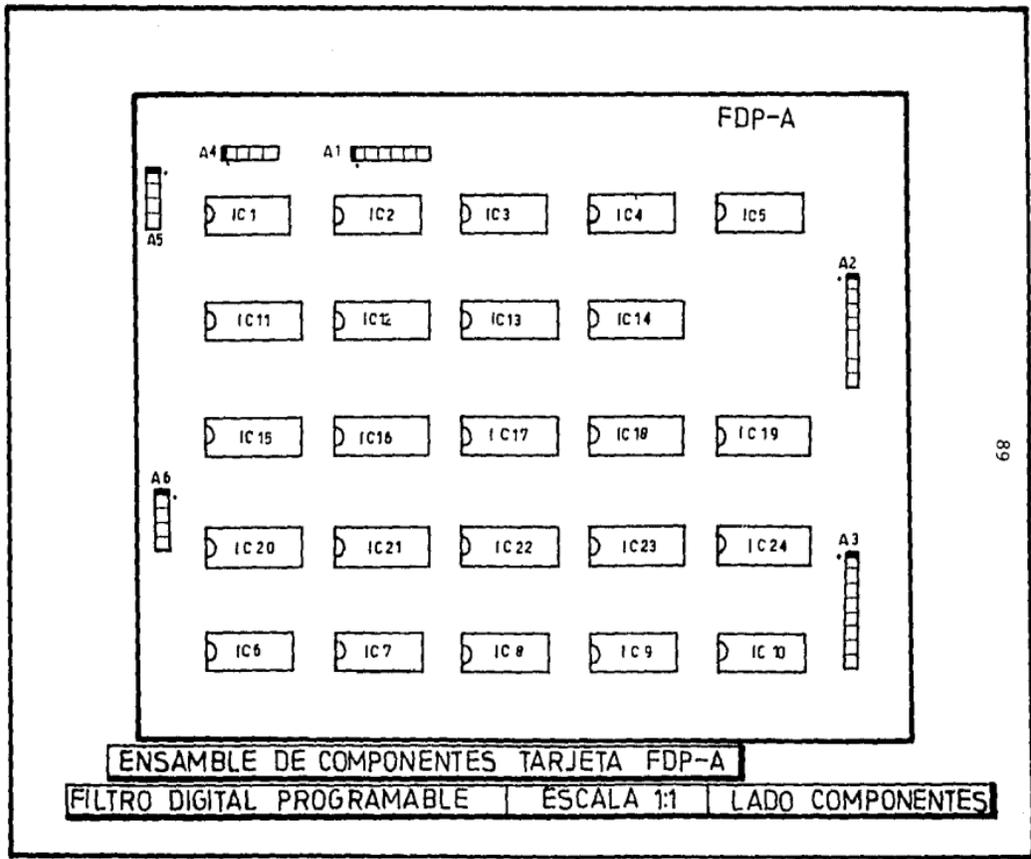


CIRCUITO IMPRESO FDP-A CARA INFERIOR

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

ESCALA 11

LADO SOLDADURA



ENSAMBLE DE COMPONENTES TARJETA FDP-A

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE | ESCALA 1:1 | LADO COMPONENTES

LISTA DE COMPONENTES TARJETA FDP-A :

CIRCUITOS INTEGRADOS :

IC1-IC10 SN74LS90
IC11-IC14 SN74LS153
IC15-IC19 SN74LS85
IC20-IC24 SN74LS75

CONECTORES :

A1 6 conexiones
A2-A3 8 conexiones
A4-A6 4 conexiones

CIRCUITO IMPRESO :

Tarjeta FDP-A

contadores que almacenan el programa, así como los comparadores además de una parte del multiplexado de la información mediante conectores es enlazada a las tarjetas FDP-B y FDP-D transmitiendo canales con datos y señales de control.

IMPRESO FDP-B :

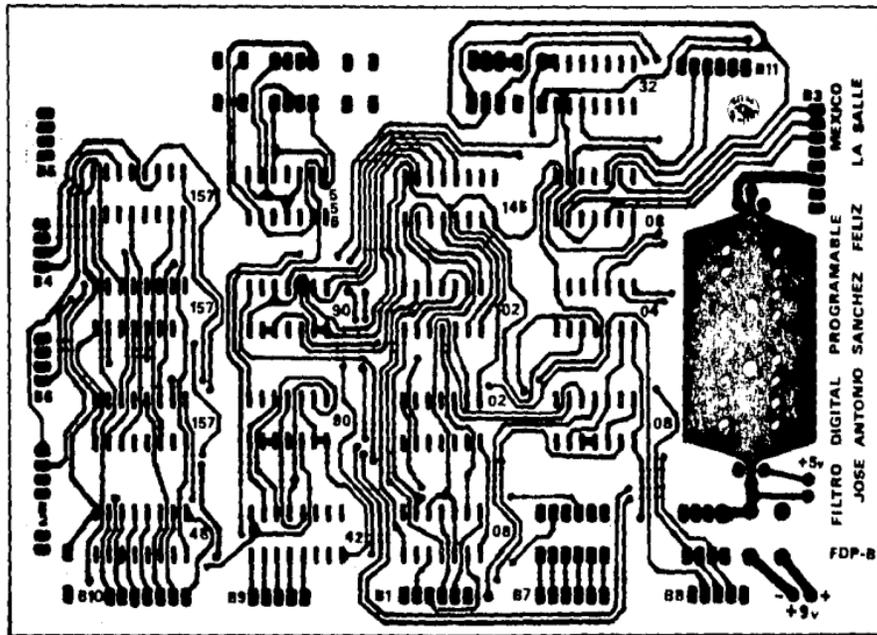
En esta tarjeta se localizan los circuitos multiplexores que despliegan la información seleccionada en los displays de la carátula, el sistema de renovación de la carátula, el programador, el controlador maestro de corte y paso y los reguladores de 5 volts.

IMPRESO FDP-C :

El circuito impreso FDP-C ha sido diseñado para contener todos los elementos de control del filtro como son interruptores, potenciómetros y todos los de despliegue como indicadores, displays, VU's, etc. esta tarjeta está situada al frente del equipo y se le superpone una carátula formando así el panel principal de controles y estado del sistema.

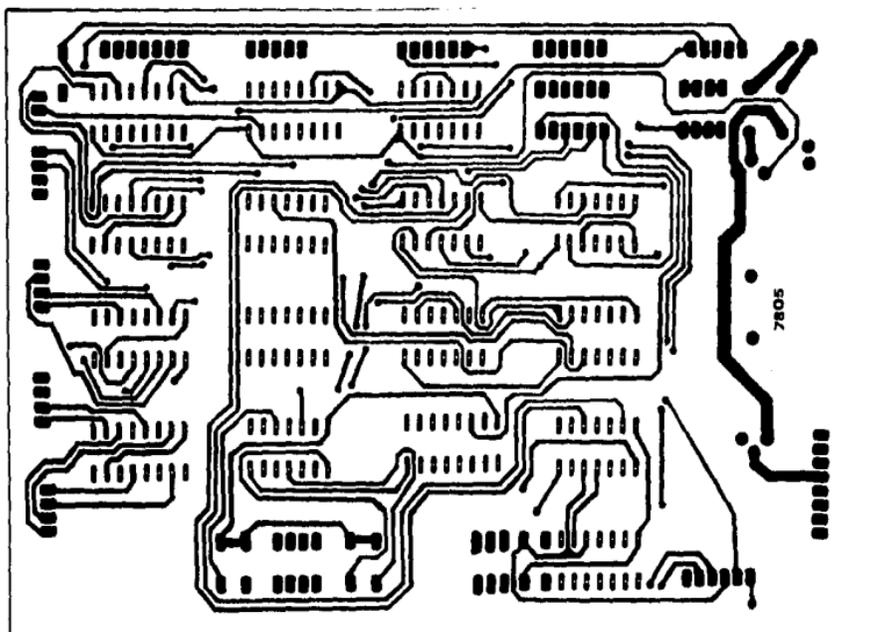
Esta tarjeta es interconectada con las tarjetas FDP-B y FDP-D a través de conectores planos. El detalle de conexión de todas estas líneas se muestra a continuación y la lista de componentes necesarios.

IMPRESO FDP-D :



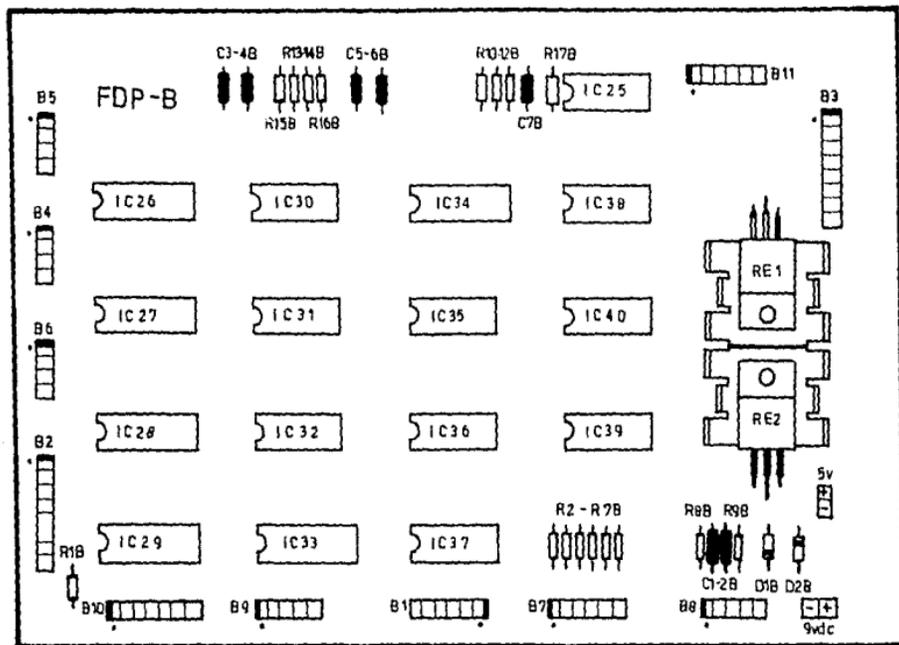
CIRCUITO IMPRESO FDP-B CARA SUPERIOR

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE ESCALA 1:1 LADO COMPONENTES



CIRCUITO IMPRESO FDP-B CARA INFERIOR

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE | ESCALA 1:1 | LADO SOLDADURA



ENSAMBLE DE COMPONENTES TARJETA FDP-B

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE | ESCALA 1:1 | LADO COMPONENTES

LISTA DE COMPONENTES TARJETA FDP-B :

CIRCUITOS INTEGRADOS :

IC25 SN74LS32
 IC26-IC28 SN74LS157
 IC29 SN7448
 IC30 LM556
 IC31-IC32 SN74LS90
 IC33 SN7442
 IC34 SN74145
 IC35-IC36 SN74LS02
 IC37-IC39 SN74LS08
 IC40 SN74LS04

R16B 22 K ohms
 R17B 1 K ohms

CAPACITORES :

C1B-C2B 10 micro F-10v
 C3B,C6B .01 micro F
 C4B 10 micro F-10v
 C5B .01 micro F
 C7B 6.8 pico F

SEMICONDUCTORES :

RE1-RE2 MS7805
 D1B-D2B BY4001

CONECTORES :

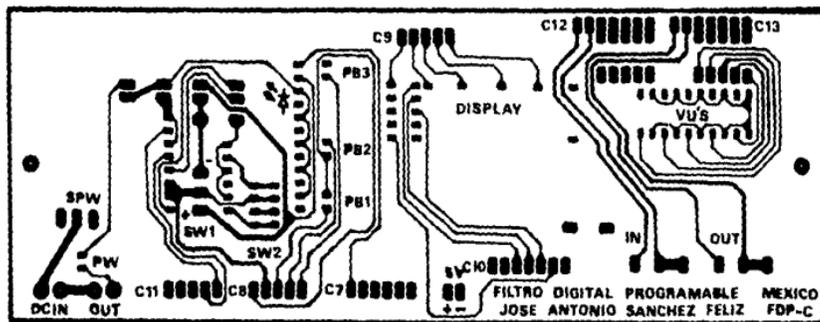
B1,B7,B11 6 conexiones
 B2-B3 8 conexiones
 B4-B6 4 conexiones
 B8-B9 5 conexiones
 B10 7 conexiones

RESISTENCIAS :

R1B 1 K ohms
 R2B-R7B 330 ohms
 R8B-R9B 270 ohms
 R10B-R12B 330 ohms
 R13B-R14B 47 K ohms
 R15B 27 K ohms

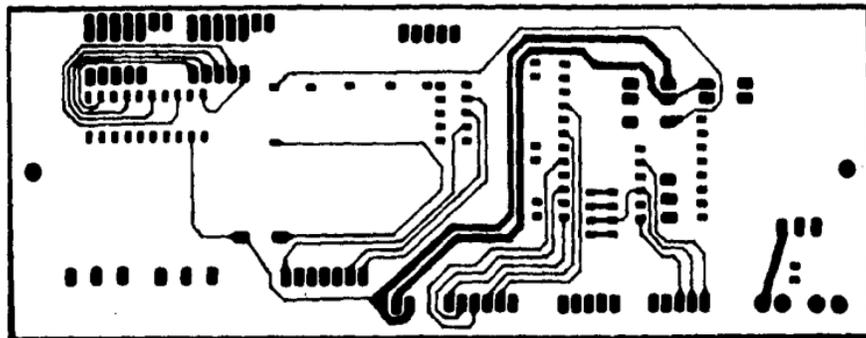
CIRCUITO IMPRESO :

Tarjeta FDP-B



CIRCUITO IMPRESO FDP-C CARA SUPERIOR

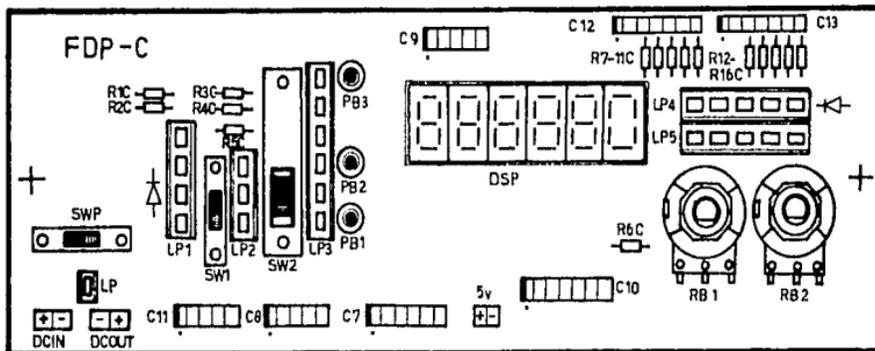
FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE	ESCALA 1:1	LADO COMPONENTES
----------------------------	------------	------------------



CIRCUITO IMPRESO FDP-C CARA INFERIOR

FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE | ESCALA 1:1 | LADO SOLDADURA

ENSAMBLE DE COMPONENTES PANEL DE CONTROLES FDP-C



98

LADO COMPONENTES
ESCALA 1:1
TARJETA FDP-C
FILTRO DIGITAL PROGRAMABLE

LISTA DE COMPONENTES TARJETA FDP-C :

LED's :

LP	1 rojo	SWP-SW1	3P2T
LP1	4 en barra	SW2	4P3T
LP2	3 en barra		
LP3	6 en barra		
LP4-LP5	5 en barra		

CONECTORES :

C7	6 conexiones
C8-C9,C11	5 conexiones
C10,C12-C13	7 conexiones

DISPLAYS :

DSP	5 FND70326 ceg. comunes
	1 cero constante

CIRCUITO IMPRESO :

Tarjeta FDP-C

RESISTENCIAS :

R1C	1 K ohms
R2C-R4C	330 ohms
R5C	1 K ohms
R6C	220 ohms
R7C-R16C	330 ohms
RB1-RB2	100 K ohms pot. lin.

SWITCHES :

P1-P3	Push-botom NA.
-------	----------------

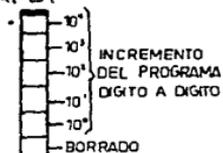
La última tarjeta del circuito impreso del "filtro digital codificador" es el impreso FDP-D. Esta tarjeta contiene la parte analógica del filtro consistente en detectores de nivel, amplificadores operacionales, detector de cruce por cero, oscilador de cristal, y conmutador analógico de la señal. Sus interconexiones van al panel (FDP-C) y a las tarjetas FDP-A y FDP-B. Además posee conectores para las entradas de señal en la parte posterior del gabinete que aloja los impresos.

IMPRESO PARA EL FILTRO DE VENTANA:

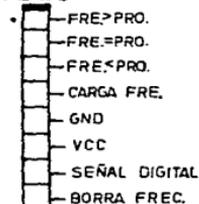
El filtro digital programable "de ventana" está contenido en una sola tarjeta de impreso, en la cual, se alojan los circuitos integrados de compuertas lógicas, mono-estables, detector de cruce por cero, conmutador electrónico y un regulador de voltaje. Este diseño de filtro está provisto de un pequeño relevador activado por el conmutador y un pulsador para el reset del sistema, en el se han alojado diodos LED para indicar el estado del filtro y su aplicación es como circuito de alarma controlado por frecuencia.

El diagrama electrónico final del circuito, su lista de componentes y su montaje mecánico en el impreso se detallan también a continuación:

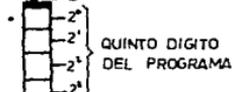
A1-B1



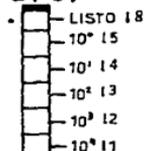
A3-B3



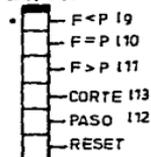
A5-B5



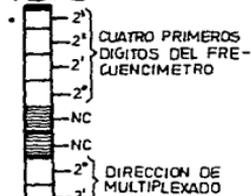
B7-C7



B11-C11



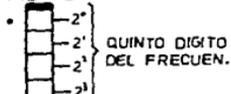
A2-B2



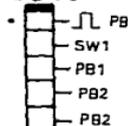
A4-B4



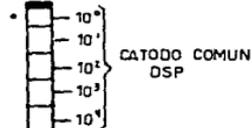
A6-B6



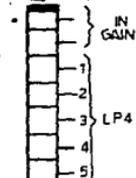
B8-C8



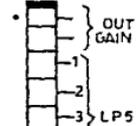
B9-C9



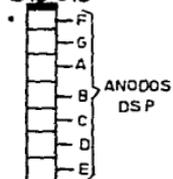
C2-D12



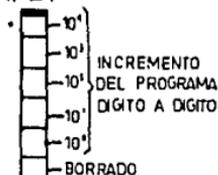
C13-D13



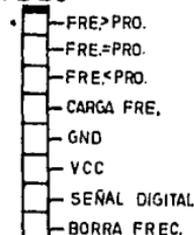
B10-C10



A1-B1



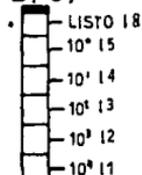
A3-B3



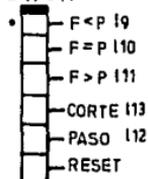
A5-B5



B7-C7



B11-C11



A2-B2



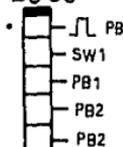
A4-B4



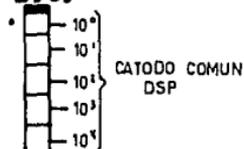
A6-B6



B8-C8



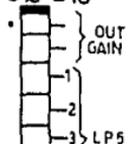
B9-C9



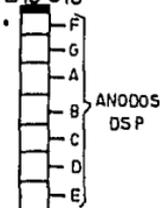
C2-D12

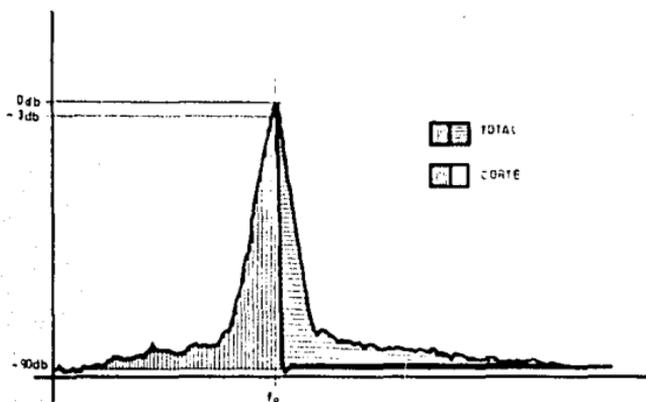


C13-D13

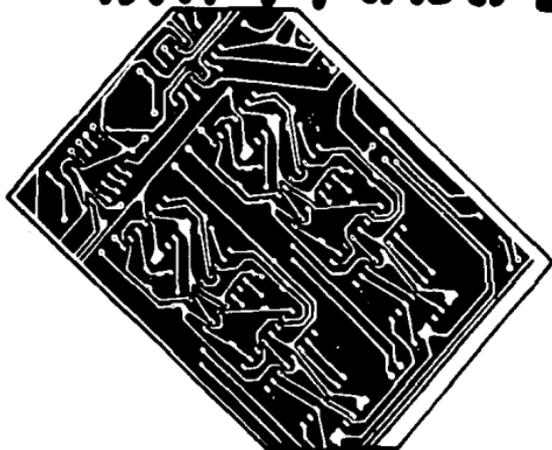


B10-C10





CAPITULO VI



METODOLOGÍA DE PRUEBA

Haremos ahora un detallado reporte del comportamiento de los filtros experimentales, (sus resultados se tratarán en un capítulo aparte), la forma de calibrar los filtros, ajustar disparos de monostable, niveles de señal, etc. Permitiendo de esta manera comprobar el funcionamiento del prototipo ensamblado, así como su calibración y puesta a punto.

El equipo utilizado será el siguiente:

Para el ensamble del filtro: Tarjetas de impreso y componentes. taladro, caudín, pinzas de punta, pinzas de corte y soldadura, cable y conectores, gabinete y fuente 15+15v dc a 1Amp. planos de montaje mecánico y diagramas de conexiones.

Para las pruebas y ajustes:

Frecuencímetro digital, Generador de funciones, osciloscopio doble trazo 40 MHz. filtro digital, multímetro digital y analizador de espectros.

Ensamble de componentes:

El ensamble de componentes sobre los impresos se realizará en el siguiente orden:

Primero se soldarán todos los elementos pasivos de una tarjeta -- (resistencias, condensadores, etc.) posteriormente se soldarán los circuitos integrados y por último los conectores, para continuar en el mismo orden con la siguiente tarjeta.

Asegurarse de la correcta polarización de los semiconductores y los capacitores electrolíticos. Todos los conectores deberán estar perfectamente identificados y los potenciómetros o presets al centro de su escala.

Asegurarse que los reguladores hagan perfecto contacto con los disipadores y evitar que estos tengan contacto con alguna terminal o pista.

Como último paso ensamble todos los componentes del panel de controles dejando el switch de encendido en posición de apagado.

Conecte la alimentación de corriente directa al circuito y enciéndalo. el consumo total no debe de exceder a 1 Amp. de lo contrario desconecte inmediatamente y verifique algún corto en las soldaduras.

Con el multímetro en escala de 20V Dc pruebe el voltaje en las patillas # 3 de los reguladores 7805 de la tarjeta FDP-B el aparato deberá indicar 5vots. de lo contrario verifique el switch de encendido este en posición correcta y que los diodos D1B y D2B estén correctamente polarizados.

Coloque el switch de programación en la posición programa y oprima simultáneamente los opturadores PBI y PB2 en el display deberá aparecer la lectura "000000" de lo contrario coloque la punta del osciloscopio en las patillas #2 de los integrados IC1 a IC5 en todas ellas deberá existir un nivel lógico alto al oprimir estos dos pulsadores, y un nivel bajo al desactivarlo.

Oprima el PB2 (next) hasta seleccionar el dígito que se desee alterar, un led indicara el número de dígito habilitado para su programación. A la salida de este pulsador deberá existir un pulso de aproximadamente un hz. cuya frecuencia podrá modificarse alterando el valor de la resistencia R13B en la tarjeta FDP-B que establece el tiempo de descarga del capacitor en oscilador contenido en 1/2 de IC30.

Oprima el pulsador PBI (set) hasta obtener el dígito deseado y repita estos dos últimos pasos hasta terminar toda la programación. Recuerde que se programa el periodo de la señal en micro segundos.

Al finalizar la programación asegurese que el led indicador de ready este encendido.

Coloque el switch de tipo de corte en la posición deseada para indicar el filtrado. "<" = paso alto, "=" = paso único o ">" = paso bajo. Un led indicará la opción. regrese el selector a la posición "run".

APLICACION DE UNA SEÑAL AL FILTRO:

En el generador de funciones seleccione una frecuencia de mil -- Hertz cuadrada con un voltaje de pico de 1v. y aplíquela a la entrada denominada "referencia in " programe el filtro a un periodo de 1000 micro segundos. Sitúe el selector en posición "=" y seleccione "run". El indicador de paso estará activado y la salida control out estará en uno lógico. Varíe la frecuencia en el generador y obtendrá una lectura de "cut" al salir de la frecuencia de 1Khz por diez microsegundos arriba o abajo; el estado de "control out" será ahora de cero lógico.

En caso de error verifique la salida del detector de cruce por cero (pin 7 del lm311), y el disparo de monoestables según las gráficas siguientes.

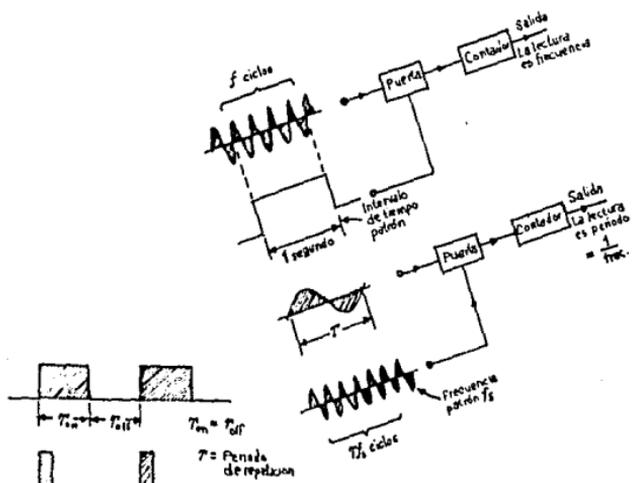
El periodo de la señal obtenida en este punto deberá ser idéntico al proporcionado por el generador de señales a la entrada del filtro pero con un voltaje de pico entre 2 y 5 volts y la señal cuadrada.

Con un frecuencímetro digital externo, verifique a la salida del generador de señales para asegurar que la frecuencia es exacta.

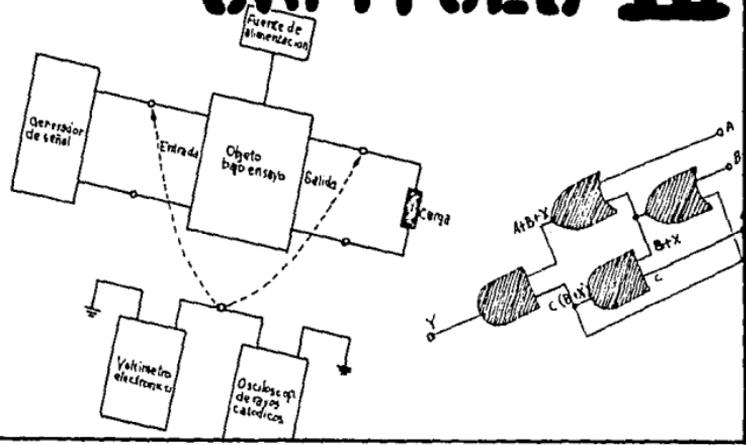
Con un milivólmetro, ajuste la salida hasta obtener la lectura de cero dbs. a esta señal de 1000 Hz. y tome la lectura de frecuencia y voltaje nuevamente en el momento de corte para verificar el funcionamiento en ambos casos.

En el siguiente capítulo se detallarán las pruebas paso a paso que

deberán efectuarse al filtro para determinar su calidad, rechazo, distorsión, etc. y de esta manera evaluar resultados.



CAPITULO VII



RESULTADOS EXPERIMENTALES

Después del diseño del filtro, la parte más importante es la evaluación de resultados obtenidos, de ahí que se halla asignado un capítulo aparte con esa finalidad.

De manera muy especial resaltaremos que la evaluación de resultados en este filtro, no puede realizarse de la misma forma que en los filtros convencionales debido a sus características tan pecu--liares, por ello, trataremos de seguir un método comparativo con pruebas a las que se someten otros filtros como los pasivos y activos, sin que esto signifique que los comportamientos ante una se--ñal sean comparativos en todos aspectos. Esto implica la adopción de nuevos criterios de evaluación. La determinación de estos cri--terios son resultado de una investigación y deben considerarse me--ramente hipotéticos, ya que este tipo de filtros aun se encuentra en su fase experimental.

RECHAZO Y PENDIENTE DEL FILTRO:

El criterio para determinar la pendiente de corte del filtro será muy similar al comunmente utilizado, esto es, se considerará una frecuencia debajo del rango programado muy aproximada a la frecuencia de corte del filtro; esa frecuencia se considerará como ce--ro decibeles, se variará la frecuencia suministrada al filtro has--ta que se produzca el corte, en ese punto se hará la lectura tan-

to de los decibeles de atenuación como de la frecuencia. Para obtener una gráfica de estos resultados, se hará en papel semi-logarítmico (logarítmico en el eje vertical y lineal en el horizontal) ba rriendo una señal senoidal pura desde la frecuencia menor a la que responda el filtro hasta la más alta y tomando lecturas de ganancia para cada frecuencia. La sucesión de estos puntos dará una -- respuesta de corte en la cual se puede calcular de forma gráfica la pendiente del filtro.

Por otro lado, el criterio analítico a seguir será el siguiente:

1°- Se considera que el filtro tiene dos estados únicos :
Conducción (paso) y rechazo (corte).

La atenuación de la señal se efectúa en el elemento de swi cheo cuyo estado de conducción (switch-on) determina los ceros Dbs. y el de corte (switch-off) determina la máxima atenuación dada por:

$$20 \text{ Log } \frac{V_{out}}{V_{in}} = \text{GANANCIA (decibeles)}$$

2°- La resistencia del elemento de swicheo se considera en ambos estados analizada por separado. Ron para conducción y Roff para corte dentro de todo el rango de operación del filtro.

3°- El análisis de la configuración del controlador determinará los voltajes de la señal en ambos estados y estos volta jes serán sustituidos en la ecuación del primer punto.

Determinación de la pendiente por método analítico:

En base a lo establecido anteriormente, procedamos a calcular la pendiente del filtro calculando su atenuación a las frecuencias cortadas:

- 1°- Resistencia del switch en estado de conducción =300 ohms
 Resistencia del switch en estado de corte =10 M ohms
 Voltaje pico a pico de la señal a la entrada = 10 volts
 Tipo de señal senoidal pura
 Rango de respuesta de 10 a 30,000 hertz

$$\text{Ganancia} = 20 \text{ Log } \frac{V_{\text{out}}}{10 \text{ v.}}$$

2°- Consideración de resistencias en ambos estados:

$$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{in}} \times R_{\text{sw}_1}}{R_{\text{sw}_2} + R_{\text{sw}_1}}$$

Estado de corte:

$$R_{\text{sw}_1} = 300 \text{ ohms}$$

$$R_{\text{sw}_2} = 10 \text{ M ohms}$$

Estado de conducción :

$$R_{\text{sw}_1} = 10 \text{ M ohms}$$

$$R_{\text{sw}_2} = 300 \text{ ohms}$$

3°- Cálculo de voltajes a la salida del filtro en base a su configuración :

$$\text{Para corte : } V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{in}} \times R_{\text{sw}_1}}{R_{\text{sw}_2} + R_{\text{sw}_1}} = \frac{10 \text{ v} \times 300 \text{ ohms}}{10 \text{ M} + 300 \text{ ohms}}$$

$$V_{out} = \frac{3,000}{10,000,300} \frac{3}{10,000} \text{ volts}$$

$$\text{Para conducción : } V_{out} = \frac{10 \text{ v} \times 10 \text{ M ohms}}{300 \text{ ohms} + 10 \text{ M}} = \frac{100,000,000}{10,000,000} = 10 \text{ v}$$

Nivel de atenuación :

$$\text{GANANCIA EN CORTE} = 20 \text{ Log} \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \text{ Log} \frac{3}{10,000} = -90.45 \text{ Dbs.}$$

$$\text{GANANCIA EN PASO} = 20 \text{ Log} \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \text{ Log} \frac{10}{10} = 20 \text{ Log} 1 = 0 \text{ Dbs.}$$

El criterio para determinar la calidad (Q) del filtro será el siguiente:

- 1°- Se determina una frecuencia central o frecuencia de corte a la que es programado el filtro en "paso único"
- 2°- Se toman las frecuencias superior e inferior a la de corte en las cuales la atenuación del switch alcanza por lo menos 90 dbs.
- 3°- Se determina la calidad del filtro al mínimo de su respuesta

$$\text{Calidad} = \frac{f \text{ unica}}{f \text{ sup} - f \text{ inf}} \quad \text{a } 90 \text{ dbs. att.}$$

- 4°- Se vuelve a determinar la calidad al máximo de su respuesta.
- 5°- Se obtiene la media aritmética de ambas mediciones obteniendo así una calidad promedio en el rango de respuesta programable.

Un segundo método alternativo sería el de obtener la calidad del filtro en la frecuencia central de su rango de respuesta, si consideramos que los intervalos de programación del filtro son cantidades a intervalos iguales (programación discreta) y estos intervalos comparativamente con la frecuencia programada son muy pequeños, podemos entonces considerarlos como diferenciales de la frecuencia de corte calculando la calidad del filtro como:

$$\text{CALIDAD} = \frac{f \text{ unica}}{f_{\text{unica}} + d(f \text{ unica}) - (f_{\text{unica}} - d(f \text{ unica}))}$$

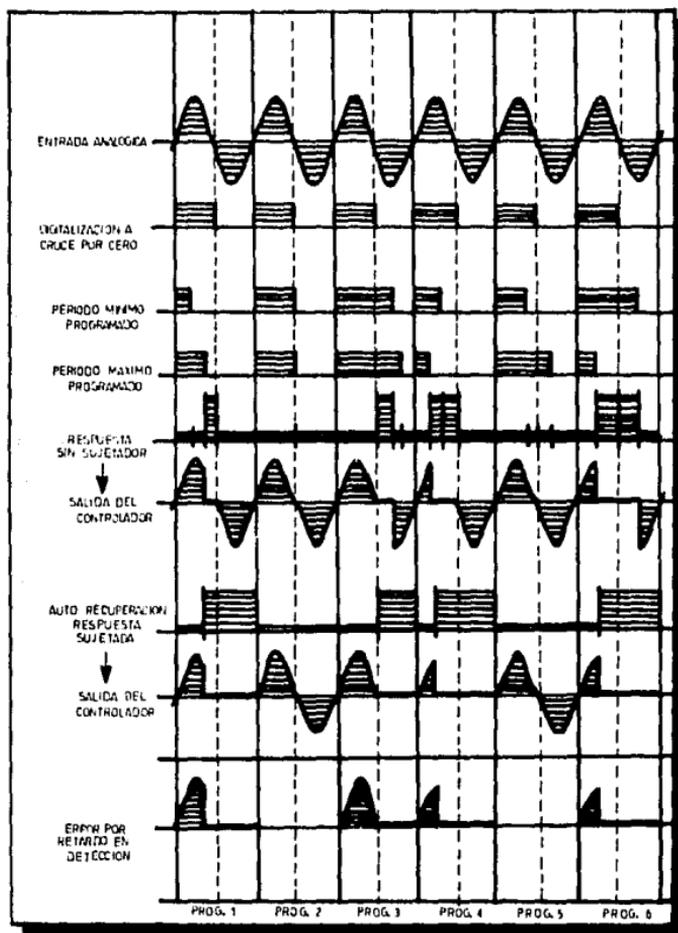
$$\text{Calidad} = \frac{f \text{ unica}}{2 d(f \text{ unica})}$$

$$\text{de ahí que : } 2Q = \frac{f}{df}$$

esto quiere decir que la calidad del filtro digital es igual a un medio de la diferencial de frecuencia. Tomando la definición del diferencial obtenemos tras el desarrollo que :

$$\text{Calidad} =$$

GRAFICAS DE RESPUESTA:



NOTA:

TODAS LAS RESPUESTAS CORRESPONDEN AL MISMO FILTRO DE VENTANA CON DIFERENTES PROGRAMAS.

EVALUACION DE RESULTADOS.

De una forma conservadora, podemos evaluar los resultados obtenidos en las mediciones como muy superiores a los resultados obtenidos en el comportamiento de los filtros desarrollados hasta la fecha. Sin embargo interviene una aclaración importantísima dentro de estas evaluaciones... Las pruebas a las que se ha sometido el filtro han sido seleccionadas conociendo las características del mismo. En forma general, hay que analizar el caso específico de cada aplicación del filtro pues no con todas las señales se comporta de la misma manera ni su respuesta es igual. Esto quiere decir que el circuito desarrollado en esta tésis puede considerarse como filtro UNICAMENTE ANTE SEÑALES CON CIERTAS CARACTERISTICAS.

El circuito desarrollado es ideal para el manejo de señales digitales donde serán suprimidos los semiciclos positivos o unos lógicos cuyo intervalo sea menor al programado en el filtro esto da una amplia aplicación del filtro digital a las comunicaciones digitales (transmisión de datos), a la detección de errores y a la conmutación por frecuencias de enganche.

Distorsión y otros problemas.

Es muy importante aclarar que la distorsión de la señal alimentada al filtro puede ser de dos tipos. Distorsión en la conmutación de la señal o distorsión en la amplitud y fase. Los elementos del filtro capaces de generar estas distorsiones son los acopladores de entrada y salida, cuya respuesta a la frecuencia puede alterar

considerablemente a la señal. Para evitar esto, el diseño de las etapas de acoplamiento se ha basado en la utilización de circuitos amplificadores operacionales cuya relación señal a ruido y distorsión es muy baja.

Es necesario considerar que los acoplamientos de impedancia entre una etapa y otra es el punto más delicado de la parte analógica para evitar al máximo distorsiones por capacitancias o bajas impedancias que producirían alteraciones a la señal, se han acoplado los circuitos a través de seguidores de voltaje que presentan impedancias de entrada muy elevada y ganancia en voltaje unitaria.

La distorsión más importante en el filtro, se produce en el momento de la conmutación, esta distorsión es generada por la transición del switch de un estado a otro, cuando esta transición se efectúa a altas frecuencias, el sobredisparo del switch produce una alteración en la señal conmutada, pero aún más delicado es cuando la señal supera la frecuencia programada y el filtro actúa interrumpiéndola en su trayectoria de oscilación, generando un armónico de la frecuencia a la que el filtro ha sido programado. Este es uno de los principales problemas que aún quedan por resolver en el diseño de los filtros digitales cuando carecen de un elemento de retardo o almacenamiento de la señal y deben actuar paralelamente a la señal suministrada.

CONCLUSIONES

El diseño fué realizado partiendo de compuertas básicas en integra dos comerciales, lo que dificultó la optimización y puesta a punto del prototipo; no obstante, un diseño con circuitos lógicos por - sencillo que parezca debe probarse ya sea por etapas o en su totalidad, pues no siempre se obtienen los resultados teóricos de la tabla de verdad a causa de factores que alteran el funcionamiento de las compuertas; Estos factores ajenos a la lógica de funcionamiento generalmente se producen en un mal diseño del montaje de - los componentes, excesivas cargas a los circuitos o fuentes de ali mentación deficientes.

Los resultados obtenidos en el diseño del filtro deben ser ana lizados separadamente de los obtenidos en su aplicación como tal, aunque en ocasiones el diseño determine o limite sus aplicaciones.

Es muy riesgoso asegurar que un circuito experimental da buenos re sultados en una aplicación determinada. La correcta operación de un circuito digital en proto-board no garantiza su correcto funcio namiento en un montaje sobre circuito impreso si no se diseña con mucho cuidado el montaje y características del mismo.

La buena calidad en un circuito impreso ahorrará muchas horas de trabajo en la puesta a punto de un prototipo donde las fallas no se pueden deber únicamente a un falso contacto sino también a un mal diseño.

El circuito impreso requiere de muchas horas de dedicación pero es

indispensable si se pretende realizar un trabajo completo y con fac
tivilidad de producción. En la realización de circuitos con gran
densidad de componentes y líneas de interconexión es muy recomenda
ble la utilización de circuitos impresos de doble cara del tipo --
"thru-hole".

La calidad de un filtro pasa a ser un parametro modificable desde
el momento en que el ancho de banda y ventana del filtro es progra
mable, por lo cual es necesario determinar la calidad a una frecuen
cia única.

Es necesario proveer al convertidor analógico-digital de un control
automático de ganancia para evitar la saturación del amplificador
de entrada antes del detector de cruce por cero.

Considerando la definición de filtro como: Un dispositivo selectivo
que transmite una parte del espectro de frecuencia atenuando
el resto.

Existen los elementos suficientes para considerar este circuito co
mo filtro ante ciertas señales aunque su comportamiento no se re-
presente matemáticamente igual al de un filtro tradicional ni en
el dominio de la frecuencia ni en el del tiempo .

El circuito de conversión analógico-digital limita en gran medida
no solo el tipo de señales a las que responde el filtro, sino también
la distorsión sobre las mismas.

Para una digitalización completa de la señal es necesario su alma-

cenamiento temporal en algún dispositivo de memoria procesando después la señal.

Para que el filtro responda al comportamiento matemático establecido en una serie de fourier es necesario el seguimiento de la señal de entrada, su integración y la composición artificial de la señal de salida del filtro.

Es necesario el establecimiento de un estandar para la evaluación de los filtros digitales así como una definición precisa de su función para considerarlos o no como digitales.

Ante señales cuadradas es posible considerar este filtro como un circuito perseguidor de frecuencia PLL (phase-locked-loop) programable PPLL (programable-phase-locked-loop).

Desgraciadamente en México, la tesis profesional aún es considerada como un " trámite ", necesario para la obtención del título profesional, de ahí que, sean sumamente escasos los trabajos en los que realmente interviene la investigación y no simplemente la recopilación de información o modificación a trabajos ya realizados.

Es necesario promover la investigación y el desarrollo de tecnología propia a nivel profesional.

BIBLIOGRAFIA

- THE TTL DATA BOOK FOR DESIGN ENGINEERS
2° Edition
Texas Instruments Incorporated

- THE LINEAR CONTROL CIRCUITS DATA BOOK FOR DESIGN ENGINEERS
2° Edition
Texas Instruments Incorporated

- THE OPTOELECTRONICS DATA BOOK FOR DESIGN ENGINEERS
5° Edition
Texas Instruments Incorporated

- CIRCUITOS ELECTRONICOS DE CONMUTACION
S. M. Bozic, R. M. H. Cheng, J. D. Parsons
Editorial Gustavo Gili S. A.

- DISEÑO DE LOGICA DIGITAL
B. Holdsworth - Chelsea College
Editorial Gustavo Gili S. A.

- FUNDAMENTALS OF ELECTRONIC DEVICES
3° Edition
Ronald J. Tocci - Monroe Community College
Editorial Merrill

**Esta Tesis se imprimió en Septiembre de 1987
empleando el sistema de reproducción Foto-Offset
en los Talleres de Impresos Offsail-G, S. A.,
Av. Colonia del Valle No. 535 (Esq. Adolfo Prieto),
Tels. 523-03-33 523-21-05 México 03100 D. F.**