

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

SISTEMA DE GRABACION DE VARIOS CANALES DE SEÑALES VOCALES
EN UNA PISTA DE CINTA MAGNETICA

Tesis previa a la obtención del título
de Ingeniero en la especialidad de
Electrónica y Telecomunicaciones

VICTOR EDUARDO SALAZAR MIRANDA

QUITO, MARZO DE 1992

DIRECTOR DE TESIS

*Certifico que el presente trabajo
ha sido realizado por el
Sr. Víctor Eduardo Salazar Miranda
bajo mi dirección*

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Erwin Barriga', with a stylized flourish at the end.

Ing. Erwin Barriga

AGRADECIMIENTO

*Mi agradecimiento sincero al
Ing. Erwin Barriga por el
apoyo brindado en la realización
de esta tesis y a todos mis
profesores que contribuyeron
en mi formación profesional.*

DEDICATORIA

*A mis padres por el apoyo
recibido durante mi vida
estudiantil, a Dios y a todas
las personas que luchan por
ideales de justicia en el
mundo.*

INDICE

PAGINA

CAPITULO I.-

1.1.-	Introducción	1
1.2.-	Desarrollo del sistema en diagrama de bloques	4
1.3.-	Estudio teórico de los elementos a utilizarse	5
1.3.1.-	Cabeza magnética	7
1.3.2.-	Cinta magnética	11
1.3.3.-	Circuitos necesarios en un magnetófono	18
1.3.4.-	Circuitos integrados y elementos electrónicos	27

CAPITULO II.-

2.1.-	Función de cada uno de los bloques que constituyen el sistema.	30
2.1.1.-	Amplificación	31
2.1.2.-	Grabación	33
2.1.3.-	Modulación para grabación	34
2.1.4.-	Sumador para grabación	35
2.1.5.-	Filtros para grabación	36
2.1.6.-	Reproducción	37
2.1.7.-	Demodulación para reproducción	38
2.1.8.-	Filtro para reproducción	39
2.1.9.-	Sistema de control	40
2.2.-	Diagrama funcional total del sistema de grabación	41
2.3.-	Obtención de datos en el laboratorio de los elementos a utilizarse	42

CAPITULO III.-

3.1.- Diseño y construcción del sistema	43
3.1.1.- Adaptación del magnetófono	45
3.1.2.- Filtros para grabación y reproducción	48
3.1.3.- Moduladores y demoduladores	61
3.1.4.- Amplificadores y sumadores	71
3.1.5.- Sistema de control	77
3.1.6.- Fuente de alimentación	81
3.2.- Mapa electrónico total del sistema	
3.3.- Mapa para circuito impreso del sistema	
3.4.- Comprobación y toma de resultados del funcionamiento parcial y total del sistema	83

CAPITULO IV .-

4.1.- Disposición física y utilización del Equipo	90
4.2.- Aplicaciones	93
4.3.- Utilidades	93
4.4.- Comentarios y conclusiones	94
ANEXOS	
Bibliografía	

TESIS. -

TITULO : SISTEMA DE GRABACION DE VARIOS CANALES DE SEÑALES VOCALES EN UNA PISTA DE CINTA MAGNETICA

CAPITULO I .-

1.1.- INTRODUCCION.-

El desarrollo y construcción de este sistema de grabación tuvo como finalidad cumplir con los siguientes objetivos :

Lograr un modelo para la fabricación comercial que fomente la aplicación de conocimientos de ingeniería en la vida económica y social del país.

Aprovechar de mejor manera la capacidad para guardar información de señales vocales en las pistas magnéticas , además de brindar la posibilidad de poseer información en forma camuflada para otros sistemas de grabación en cintas magnéticas.

A continuación se dará una descripción básica de la capacidad, utilidad y forma de funcionamiento que tiene este sistema de grabación construido.

El sistema construido tiene la capacidad de grabar y reproducir la información en cualquiera de los tres canales cada uno de los cuales tendrá un determinado ancho de banda que permita que la información sea totalmente entendible.

La grabación de información en los tres canales puede ser realizado simultáneamente o por separado.

Los canales están colocados uno a continuación de otro con un cierto rango de seguridad dentro del espectro de frecuencias que puede ser registrado en una pista magnética.

El procedimiento que se utiliza para obtener tres canales en una misma pista de grabación consiste en colocar la información de señales vocales en una banda base determinada para luego por medio de métodos de modulación trasladar este espectro a otra zona determinada dentro del espectro de frecuencia que es posible grabar en una pista de cinta magnética.

Es importante tomar en cuenta que en el procedimiento de modulación que se realiza para los canales 2 y 3 se toma una sola banda lateral para aprovechar de mejor manera el ancho de banda disponible para la grabación en una pista de cinta magnética.

Este procedimiento puede observarse en el gráfico 1.1 de espectros de frecuencia mostrado a continuación.

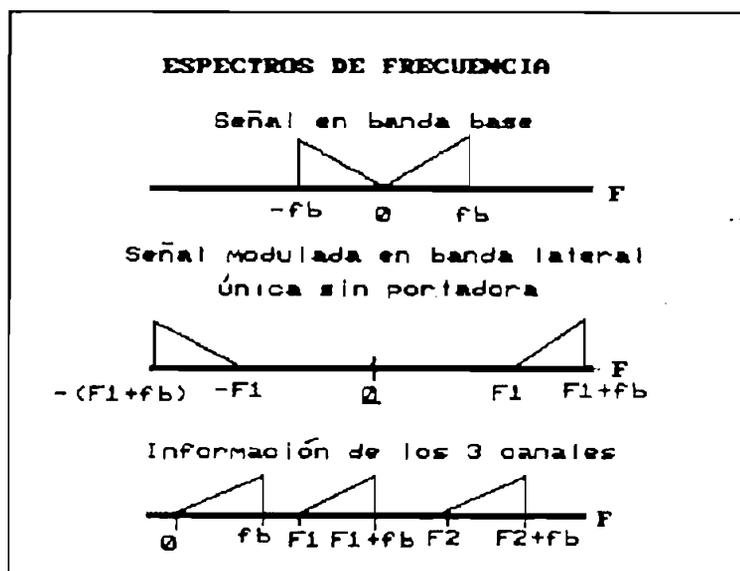


Fig. 1.1

En la construcción de este equipo se utiliza en base una grabadora de señales audibles en la que se realiza varias modificaciones a los circuitos ya existentes, como también añadir circuitos electrónicos para la obtención de los distintos módulos que son necesarios para el funcionamiento de este sistema.

Las principales utilidades que se obtiene de este sistema son las siguientes:

Logra una duración tres veces mayor en la capacidad de guardar información de señales vocales.

Se puede utilizar para mezclar voces cuando se quiere reproducir la información de los tres canales al mismo tiempo.

Se puede grabar tres tipos de informaciones simultáneas en el mismo aparato lo que puede ser utilizado para almacenar informaciones ya existentes como también señales vocales de distintas personas al mismo tiempo.

1.2.- DESARROLLO DEL SISTEMA EN DIAGRAMA DE BLOQUES.-

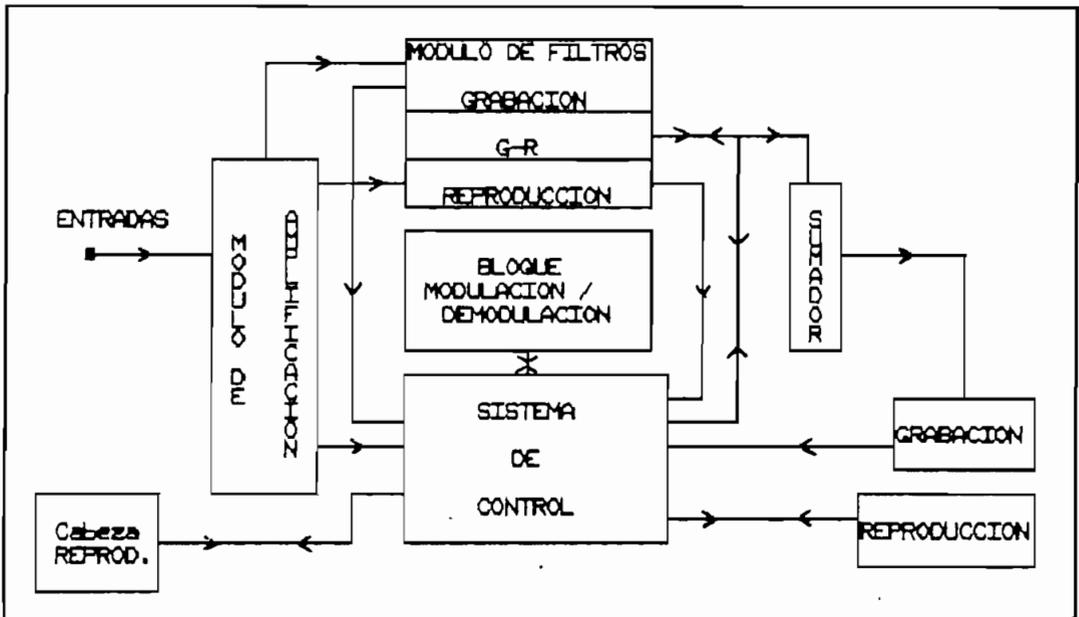


Fig. 1.2

1.3.- ESTUDIO TEORICO DE LOS ELEMENTOS A UTILIZARSE.-

La descripción del conjunto de fenómenos electromagnéticos que acontecen en el funcionamiento de todo sistema de grabación en cinta magnética requiere una exposición previa de los principios de la teoría electromagnética.

Los fundamentos del magnetismo describen el estudio del fenómeno denominado magnetización por inducción, según el cual todas las sustancias en mayor o menor grado adquieren un estado especial de imanación cuando se encuentran en presencia de un flujo magnético.

De acuerdo a su capacidad de imanarse los materiales se clasifican en tres grupos :

Ferromagnéticos.- son capaces de imanarse

Diamagnéticos.- no admiten ninguna imanación

Paramagnéticos.- susceptibles a una débil imanación

El hierro y sus aleaciones pertenecen al primer grupo.

El grado de imanación de una sustancia depende de la intensidad del campo magnético al que se halla expuesto en forma directamente proporcional hasta un cierto límite en el cuál por mucho que se aumente la intensidad del campo magnético la sustancia no alcanza mayores grados de imanación.

Este fenómeno se produce porque toda sustancia tiene una capacidad máxima de imanación.

Cuando se llega a este límite se dice que la sustancia esta saturada.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente podemos decir que los sistemas de grabación en cinta magnética se basan en estos principios.

En los magnetófonos los elementos utilizados para la generación del flujo magnético son las cabezas magnéticas las que básicamente están constituidas por una bobina y un núcleo.

En el gráfico de la figura 1.3 se observa la curva de magnetización de cualquier sustancia donde podemos fijar nuestra atención en los puntos de saturación como de magnetismo remanente, donde H es el campo externo aplicado y B la inducción magnética

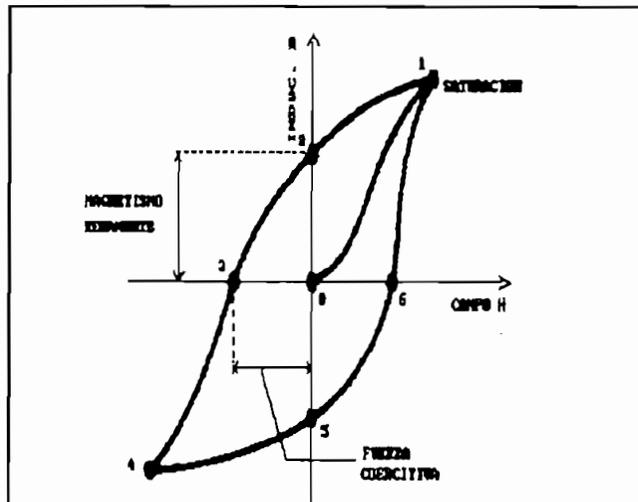


Fig. 1.3.- Curva de Histéresis

Para registrar la información se emplean las cintas magnéticas constituidas básicamente de un soporte plástico y material ferromagnético, a más de circuitos electrónicos que permitan que la grabación de información en la cinta magnética se realice dentro de la zona comprendida entre los puntos de magnetismo remanente y los de saturación.

Los elementos importantes para un sistema de grabación magnética son la cabeza y cinta magnéticas, los que constituyen el pilar fundamental de la reproducción y grabación de señales eléctricas comprendidas en un cierto rango de frecuencias.

1.3.1.- CABEZA MAGNETICA.-

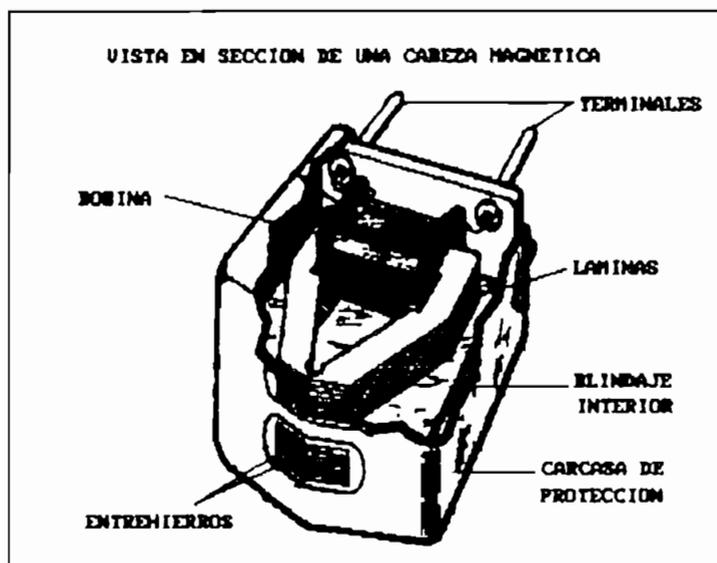


Fig. 1.4

En la figura 1.4 se muestra la distribución interior de elementos en una cabeza magnética.

Pueden observarse las bobinas y las piezas polares.

Dichas piezas polares terminan en la superficie de la cabeza, sobre la que pasa la cinta a una determinada velocidad, y están separados por un espacio de tamaño muy reducido relleno de material no magnético que separa ambos polos; las dimensiones de dicho entrehierro se expresan en micras y su valor definitivo depende del tipo de aplicación de la cabeza.

La bobina, al recibir las variaciones eléctricas de la señal de audio, produce un campo magnético en el entrehierro, campo que varía en intensidad y polaridad de acuerdo con los cambios de la señal.

Este flujo de campo magnético circula por el óxido de la cinta para cruzar el entrehierro .

El resultado es una variación magnética, impresa en la cinta en movimiento, que corresponde a los cambios de la señal de audio. Si el entrehierro se hace demasiado pequeño, el flujo magnético tenderá a circular por el entrehierro en vez de cerrar el lazo por la capa sensible de la cinta, debido a que la resistencia magnética disminuiría.

Aumentando la longitud del entrehierro crece la tensión de salida, pero, como contrapartida, se reduce la respuesta en frecuencias altas.

El campo en el entrehierro es una representación magnética de la señal eléctrica de audio que circula por la bobina.

Las cabezas magnéticas ya sean de grabación, reproducción o borrado tienen la estructura mostrada en la figura 1.4. En ella se pueden distinguir dos componentes principales:

- a) núcleo magnético
- b) bobinado

El circuito magnético se compone generalmente de metal con una inducción remanente muy pequeña (de esta forma el flujo circulante sigue con exactitud las variaciones de la intensidad de campo). Las pérdidas por histéresis han de ser mínimas así como las producidas por corrientes de Foucault que se reducen empleando, en vez de núcleo

magnético macizo, un apilamiento de placas muy finas aisladas entre sí.

El bobinado se reparte en dos arrollamientos situados cada uno en un seminúcleo . Se prefiere esta disposición porque reduce la sensibilidad de la cabeza a campos externos perturbadores.

Todo el conjunto núcleo bobina se encapsula de forma que la protección contra campos parásitos sea eficaz.

En general las condiciones exigibles a una cabeza magnética son las siguientes:

- 1) Debe permitir un contacto entrehierro-cinta perfecto
- 2) El blindaje debe ser inmune al ruido
- 3) La resistencia al desgaste debe ser grande

A continuación conoceremos características de los distintos tipos de cabezas magnéticas :

a) Cabeza de grabación .-

La longitud del entrehierro suele estar comprendida entre 5 y 20 μ m y la principal característica que debe cumplir es que el campo ,que alcanza valor máximo en el centro del entrehierro caiga de forma muy rápida en las proximidades de este.

La bobina suele ser del tipo de baja impedancia y el blindaje no es tan crítico como en otro tipo de cabezas.

b) Cabeza de reproducción .-

La longitud del entrehierro adquiere en este tipo de cabezas una importancia primordial ya que debe ser muy pequeña para poder leer las altas frecuencias contenidas en la cinta.

Por otra parte, para obtener una buena relación señal ruido es necesario aumentar la superficie del entrehierro y por tanto su longitud.

Normalmente una cabeza de reproducción suele tener entrehierros comprendidos entre 3 y 5 μ m.

El bobinado es de baja impedancia y el sistema de blindaje debe ofrecer una protección muy eficaz contra las intensidades de campo parásitas.

c) Cabeza mixta grabación/reproducción.-

Debe poseer unas características medias entre las exigencias de grabación y reproducción ,si bien se concede una mayor importancia a las funciones de reproducción. Este tipo de cabeza es la que comunmente se utiliza en el mercado.

d) Cabeza de borrado .-

Las exigencias de esta cabeza son mucho menos críticas que las anteriores, ya que su función es grabar en la cinta una frecuencia fija elevada.

1.3.2.- CINTA MAGNETICA .-

Una cinta magnética de las utilizadas comunmente en los magnetófonos, consiste en una película de plástico sobre la que se deposita una finísima capa de material magnético.

Si bien el soporte de plástico así como los elementos aglutinantes son muy importantes para el buen funcionamiento de la cinta, la capa magnética es el medio que permite la grabación, y por lo tanto ha de ser de un material ferromagnético.

En la mayoría de los casos se utilizan diversas variedades de óxido de hierro aunque en los últimos años han aparecido nuevos materiales adecuados para este fin.

Las partículas magnéticas que pueden considerarse como una multitud de pequeños imanes, se presentan generalmente en forma de agujas, y con el fin de aprovechar mejor sus propiedades se alinean físicamente, durante la fabricación, por medio de un proceso magnético, de forma que su mayor dimensión se corresponda en general con la de la cinta.

De esta manera pueden ser magnetizados en una u otra dirección dependiendo del campo magnético que se les aplique.

La figura 1.5 muestra los valores de remanencia magnética B_r en función del campo magnetizante H , es decir, la fuerza o magnitud de la magnetización permanente B_r que la cinta adquiere y mantiene en función del campo magnético H , que crea la cabeza de grabación gracias a la corriente de audio aplicada a ella.

Es evidente que la cinta como soporte de la grabación, juega un papel muy importante en los procesos de registro-reproducción.

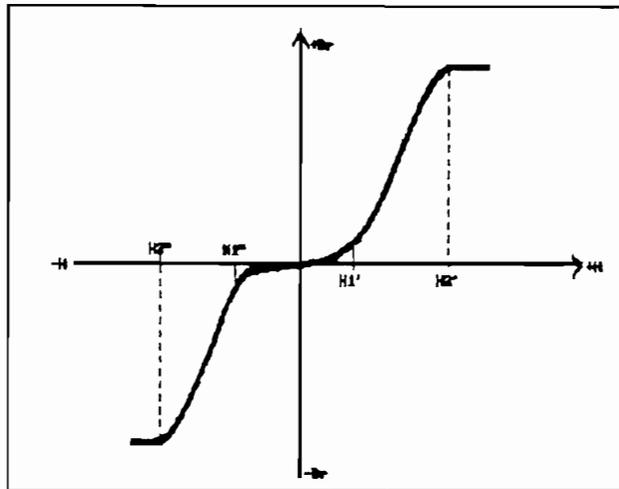


Fig. 1.5.- Función que relaciona la remanencia magnética con el campo magnetizante.

Los elementos componentes de la cinta magnética son: soporte, aglutinante y capa de material magnético.

Estudiaremos por separado cada uno de estos componentes.

a) Soporte.-

Es la capa básica que confiere a la cinta sus propiedades mecánicas. Sobre este soporte se deposita posteriormente el aglutinante y la película magnética. Para que cumpla la función que se asigna el soporte debe poseer algunas cualidades que seguidamente enumeraremos.

a1) Resistencia mecánica. Esto engloba tres características distintas que son:

La fuerza de ruptura.- fuerza que sería necesario aplicar para romper totalmente el soporte.

Límite de elasticidad .- es la fuerza a partir de la cual la cinta experimenta un alargamiento permanente

Resistencia a los choques.- es el número de Kg.m que es preciso aplicar bruscamente para romper el soporte, en esta característica interviene la fuerza de ruptura y el alargamiento permanente que el material experimenta antes de la ruptura.

Propiedades magnéticas.-

- *Gran remanencia máxima .-* cuanto mayor sea este parámetro más elevada será la sensibilidad de la cinta y por lo tanto se incrementará la tensión de salida en la cabeza de reproducción

- *Gran coercitividad o campo correctivo.-* Expresa la capacidad de la cinta para evitar la desmagnetización espontánea que alcanza su máximo valor en las cortas longitudes de onda

-*Anchura de la pista.-* Cuanto mayor sea la superficie de pista grabada tanto mayor será el número de partículas imanadas productoras de flujo y por lo tanto se incrementará la tensión de salida en los bornes de la cabeza de reproducción.

- *Sensibilidad de salida uniforme.-* este factor depende aproximadamente en forma directamente proporcional del espesor de la capa magnética .

- *Ausencia de caídas instantáneas del nivel de salida.-* que se producen por la insuficiencia de concentración de material magnético.

- *Mínimo ruido de fondo.-* producido por el reparto irregular de los cristales magnéticos en la superficie de la cinta.

- *Efecto de copia mínimo.-* es la aparición de un eco en reproducción.

Propiedades mecánicas.-

- *Superficie uniforme.- para disminuir el ruido de fondo.*
- *Naturaleza no abrasiva.-para evitar el desgaste de las cabezas y guías.*
- *Ausencia de pérdidas en la capa magnética.-para aumentar la duración y disminuir el desgaste.*
- *Flexibilidad.-necesario para asegurar un buen contacto cinta- cabeza y favorece el bobinado.*
- *Inmunidad a la formación de cargas estáticas.-para evitar la generación de ruidos parásitos.*

CARACTERISTICAS DE LAS CINTAS MAGNETICAS PARA CASSETTE.-



Fig. 1.6.- Vista en sección de una cinta magnética en cassette

Se particularizan por estar introducidas en una carcasa plástica en la que internamente existen elementos asociados como son :

- alineadores los cuales tienen como función principal lubricar el rollo de la cinta en su movimientos a través de la carcasa.

- almohadilla de presión que termina en un muelle resistente de bronce y mantiene la cinta en contacto con la cabeza magnética.

- rodillos directores que cumplen la función de dirigir la cinta en la posición más adecuada, giran sobre ejes de acero inoxidable.

Con respecto a sus dimensiones físicas estas tienen las siguientes características:

ancho 3.8 mm aproximadamente

El espesor y longitud dependen del formato empleado y la duración que se desea obtener, a continuación presentamos el siguiente cuadro:

TIPO	Película Base	Espesor (μm)	Longitud (m)	Duración (min) un sentido ambos	
C-30	Poliéster	18	45	15	30
C-60	Poliéster	18	90	30	60
C-90	Poliéster	13	135	45	90
C-120	Poliéster	9	180	60	120

El objetivo de todos los sistemas compactos de grabación - reproducción es almacenar la mayor cantidad de información en la menor superficie posible lo cual depende de las características físicas de la capa magnética especialmente del factor de coercitividad que se define como la intensidad de campo magnético necesaria para borrar una cinta previamente grabada.

Presentamos a continuación un cuadro que nos muestra el material magnético más comunmente empleado en cintas, a cassette, con su factor de coercitividad (medido en oesterds) máximo alcanzado.

MATERIAL	Factor de coercitividad
Oxido de hierro	450
Bióxido de cromo	500
Cobalto	540
Ferricromo	500
Metal	1000

En la figura 1.6 se muestra curvas de respuesta de frecuencia de cintas cassette de metal (línea continua) y de óxido de hierro (línea cortada) para diferentes niveles de grabación.

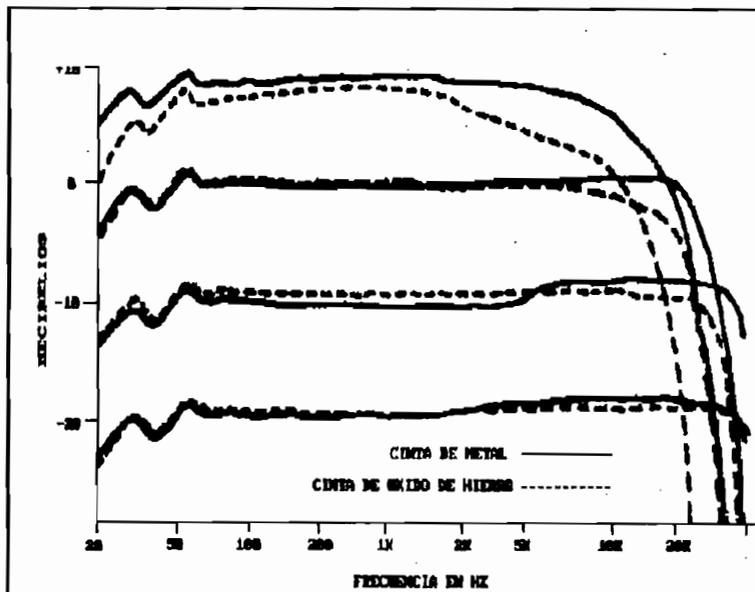


Fig. 1.7.- Curvas de respuesta de frecuencia

1.3.3.- CIRCUITOS NECESARIOS EN UN MAGNETOFONO.-

Las principales observaciones y circuitos que se deben tomar en cuenta en la grabación y reproducción de señales de distintas frecuencia son:

POLARIZACION.-

Esto se hace necesario debido a la característica que relaciona la remanencia magnética con el campo magnetizante que se puede observar en la figura 1.5 la cual no es totalmente lineal por lo que al realizar una grabación sin corriente de polarización la señal registrada estaría distorsionada, como podemos observar en el ejemplo de la figura 1.8.

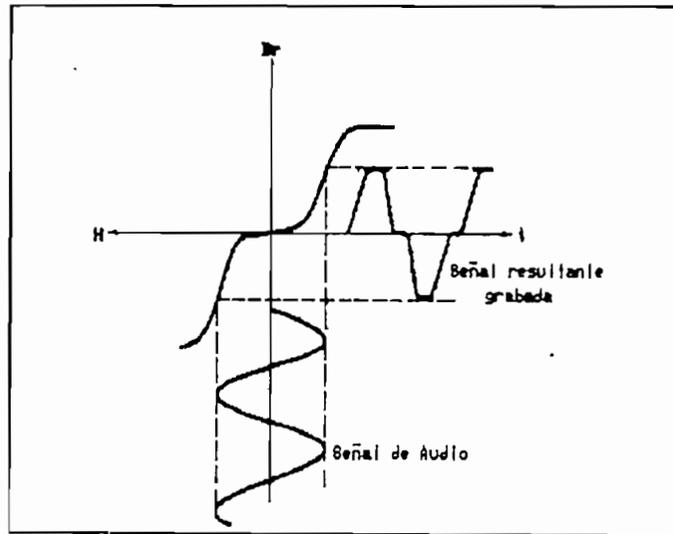


Fig. 1.8.- Grabación sin polarización

Para evitar esta distorsión en la grabación es importante trabajar en la parte lineal de la función $B_r = F(H)$, para lo cual es necesario añadir una corriente de polarización ya sea positiva o negativa.

A esto se le conoce como polarización.

Existen dos tipos de polarización : de corriente continua y de corriente alterna.

Polarización de corriente continua.-

Consiste en añadir una corriente continua sobre la cabeza del registro. Esta polarización no es utilizada actualmente ya que presenta graves inconvenientes como los siguientes:

- La característica de registro se aprovecha mal ,puesto que solo utiliza una rama de la curva.

- La magnetización de la cinta no se interrumpe en las zonas de pausa de la señal de grabación.

- La reproducción va acompañada de un ruido de fondo importante.

Ya que las partículas no están repartidas en la capa magnética en forma totalmente regular.

Estos inconvenientes han sido eliminados polarizando con una corriente alterna de frecuencia ultrasónica.

Polarización por corriente alterna .-

En este sistema se superpone la señal de grabación a una tensión de alta frecuencia de nivel fijo como lo mostrado en la figura 1.9.

Es importante hacer constar que no se trata de una modulación de amplitud de la corriente de polarización por la señal de audio, sino simplemente de una superposición.

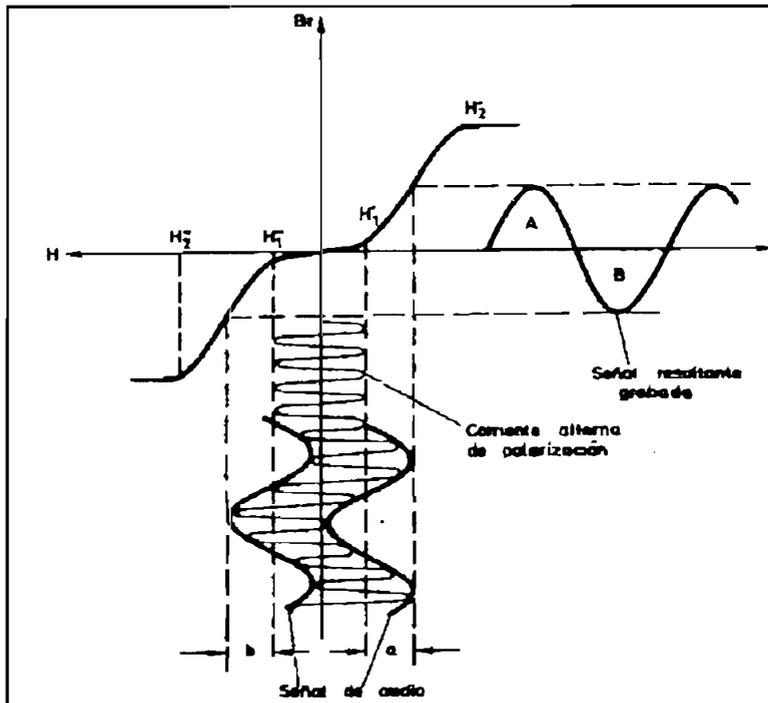


Fig. 1.9.- Grabación con polarización por corriente alterna

Con este sistema el grado de rendimiento de la grabación magnetofónica es óptimo, obteniéndose las siguientes ventajas:

- La distorsión se reduce considerablemente
- En ausencia de la señal de baja frecuencia la inducción remanente es nula, por lo que el ruido de fondo no aumenta e incluso disminuye con relación a una cinta virgen.
- Se aprovecha las dos partes lineales de la curva . Utilizando polarización por corriente alterna se obtiene una buena relación señal/ruido.

Es importante limitar la amplitud de la señal de BF a registrarse de forma que no sobrepase el valor máximo denominado corriente de saturación para evitar la existencia de una fuente de distorsión.

Generación de corriente de polarización y borrado.-

La generación de una corriente alterna sinusoidal de alta frecuencia se lleva a cabo por medio de circuitos osciladores.

Con el fin de evitar batidos indeseables, la frecuencia de trabajo del oscilador ha de ser del orden de cinco veces mayor que la mayor frecuencia del espectro de audio a grabar y reproducir, pero no mucho mayor para no incrementar demasiado la impedancia de la cabeza de grabación ni elevar excesivamente las pérdidas de la cabeza de borrado que aumentan con la frecuencia.

Asimismo debe producir una onda sinusoidal perfecta, ya que toda distorsión se traduce en apariciones de soplos.

También es deseable que se mantengan invariables la frecuencia y amplitud de la señal del oscilador.

Estudiemos ahora factores que intervienen en el proceso grabación/reproducción.

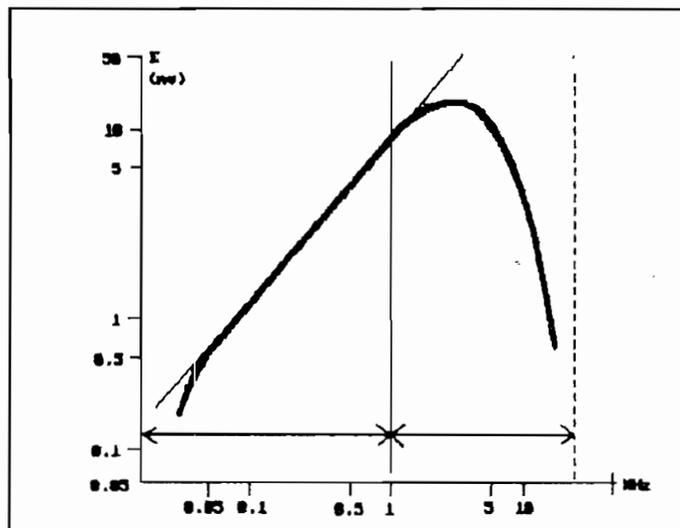


Fig. 1.10.- Curva que relaciona la tensión de salida con la frecuencia de una cabeza de grabación

or

Como característica principal de la curva (fig.1.10) observamos:

a) Caída de las frecuencias bajas.-

La causa de este comportamiento se explica porque la tensión en la cabeza de reproducción, según la ley de inducción es:

$$-e = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Puede demostrarse que dicha ecuación se reduce a

$$-e = 2\phi_{\max} / (1/2f) \rightarrow e = k * f \quad \text{Ec. 1.2}$$

Por tanto la tensión es directamente proporcional a la frecuencia.

b) Atenuación de las frecuencias altas.-

$e = k * f$ no se cumple para altas frecuencias ya que a partir de cierto valor de frecuencia disminuye debido a:

1) Desimánación espontánea de la cinta .Este fenómeno se manifiesta tanto más cuanto es mayor la frecuencia. Para disminuir estas pérdidas es preciso aumentar la longitud de onda aumentando la velocidad de paso de la cinta.

2) Influencia de la dimensión del entrehierro .Cuanto menor sea la longitud de éste ,mayor será su sensibilidad para captar frecuencias elevadas.

3) Contacto cinta/cabeza. Cuanto mejor sea este contacto físico mayor es la tensión de salida sobre todo en las frecuencias altas

Dentro de la cabeza de reproducción se generan a su vez pérdidas debido a las siguientes causas :

a) Capacidades parásitas en el interior de la cabeza.

b) Pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault que aumentan rápidamente con la frecuencia.

c) Influencia de la corriente de polarización cuyos efectos modifican la curva de respuesta.

La cabeza magnética no es más que una bobina arrollada en un material ferromagnético; por lo tanto su impedancia, de naturaleza inductiva, varía con la frecuencia. Generalmente para paliar este inconveniente se recurre a trabajar con corriente constante en vez de mantener constante la tensión.

En la práctica suele disponerse una resistencia de gran valor en serie con el arrollamiento de la cabeza (resistencia de regulación) lo que permite estabilizar de forma suficiente la intensidad que circula por el conjunto.

Esto observamos en la figura 1.11.

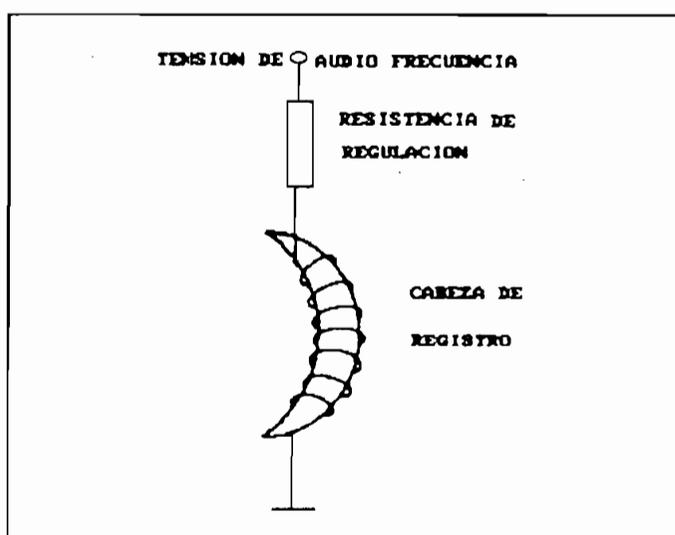


Fig. 1.11.- Disposición en serie de la resistencia de regulación

Ecualización.-

En la práctica se aplican algunas medidas correctoras, con el fin de obtener resultados aprovechables en los procesos de registro magnético.

1) Por una parte es necesario compensar las pérdidas en alta frecuencia; para ello se realzan estas frecuencias en el proceso de grabación, en un valor tal que las pérdidas ulteriores en el proceso de reproducción restablezcan la proporción amplitud/frecuencia original.

Esta operación de preacentuación debe realizarse en grabación ya que de este modo se obtiene un beneficio adicional en la relación señal/ruido, al aumentar deliberadamente el nivel de señal justamente en el margen de frecuencias donde el ruido de cinta se manifiesta con mayor intensidad.

2) Por el contrario la acentuación de las frecuencias graves se realiza en reproducción, esto se hace por el inconveniente de saturar la cinta en grabación.

Estas correcciones se conocen con el nombre genérico de ecualización y, evidentemente, tanto en registro como en reproducción dependen de la curva de respuesta de corriente constante, la cual depende a su vez de la velocidad utilizada en el paso de la cinta, que en el formato de cassette la velocidad normalizada es de 4.75 cm/s, el cual es muy reducido para la obtención de un nivel de muy alta fidelidad.

En la práctica las ecualizaciones se llevan a cabo en los respectivos amplificadores de grabación de los magnetófonos.

Por otra parte, con el objeto de permitir el intercambio de cintas entre aparatos de distintas marcas, se han establecido curvas de reproducción y grabación normalizadas que veremos a continuación.

Para ecualización existen valores normalizados aceptados por los fabricantes de cintas y magnetófonos.

En general podemos resumir que el efecto de la ecualización en cintas cassette es reforzar, en reproducción, la respuesta en agudos para soslayar, en lo posible, los efectos de las pérdidas en alta frecuencia debidas a la reducida velocidad de paso de la cinta y otras existentes en el proceso de grabación.

Para llevar a la práctica esta solución se elige una frecuencia fija a partir de la cual se realzan todas las frecuencias superiores. Para lo cual se utilizan generalmente redes R-C. Estas curvas podemos observar en la figura 1.12.

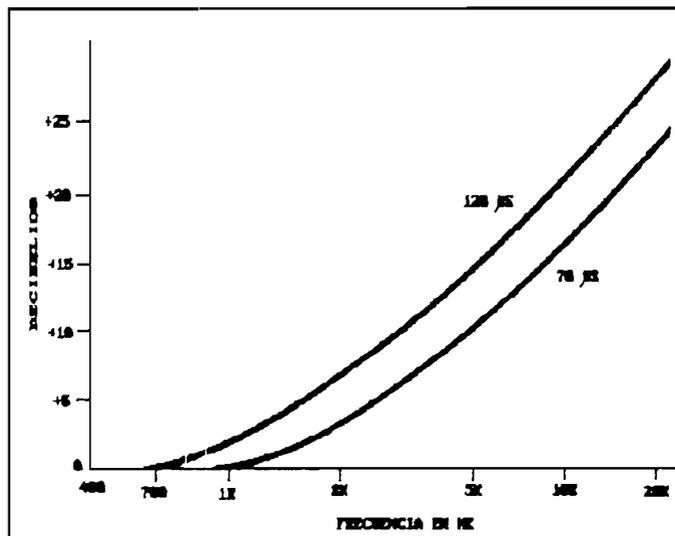


Fig. 1.12.- Curvas de Ecualización estándar para cintas cassettes

En el caso de las cintas de óxido de hierro esta frecuencia es de 1326.3 Hz ó 120 μs

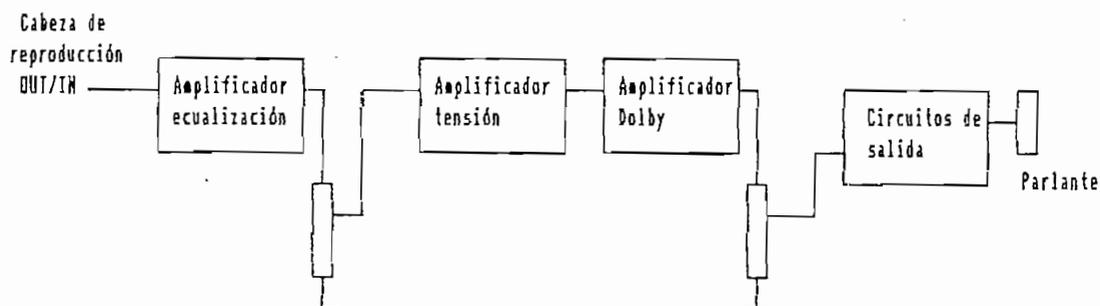
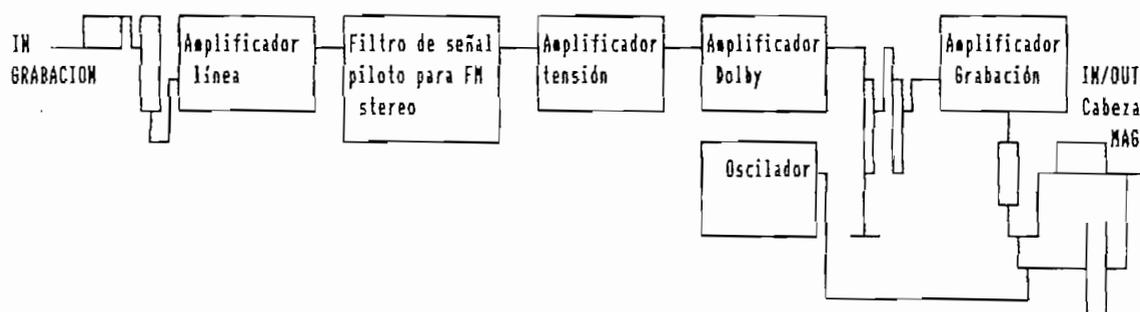
Puesto que las cintas de bióxido de cromo (CrO₂) y metal puro necesitan menos esfuerzo por su mejor comportamiento en frecuencias altas, la frecuencia elegida como punto de partida para su incremento es 2273.6 Hz ó 70 μs.

Sistemas de reducción de ruido.-

El más común es el Dolby en su versión B.

Este sistema electrónico de reducción de ruido aprecia el nivel de señal que llega a la cabeza de grabación; si es muy elevado no actúa; si por el contrario, su valor es débil, aumenta su amplitud y posteriormente permite que se realice la grabación.

A continuación presentamos un diagrama de bloques de un magnetófono a cassette.



1.3.4.- CIRCUITOS INTEGRADOS Y ELEMENTOS ELECTRONICOS.-

Los circuitos integrados que han sido escogidos para el diseño de los diferentes módulos son:

LM 301 .-

Este integrado corresponde a un amplificador operacional el cual será utilizado para el diseño y construcción de los circuitos que conforman los módulos de filtros, sumadores y amplificadores tanto para grabación y reproducción.

La distribución de pines y su forma física puede observarse en la figura 1.13.

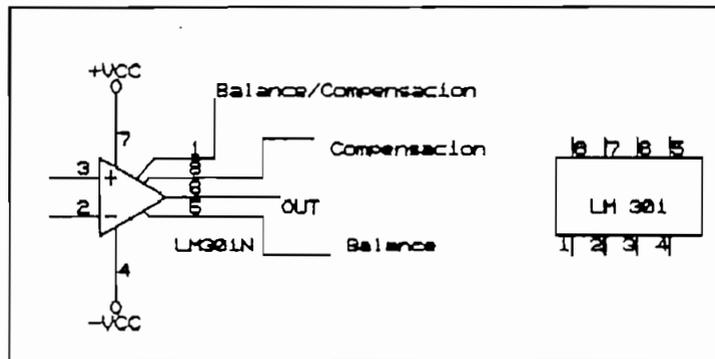


Fig. 1.13.- LM 301

Este integrado tiene como algunas de sus principales características las siguientes:

Fuente de alimentación desde $\pm 4\text{v}$ a $\pm 18\text{v}$

Potencia de disipación máxima 500 mW

Rango de temperatura para almacenamiento

-65 a +150 grados C.

Rango de temperatura para operación

0 a + 70 grados C.

Resistencia de entrada 0.5 - 2 M Ω

Protección para corto circuito

RESISTENCIAS.-

Todas las resistencias empleadas son de valores normalizados con una potencia de disipación de 1/4W.

CONDENSADORES.-

Los condensadores empleados son de cerámica no polarizados para los módulos que trabajan con señales de audio, y polarizados para las fuentes y reguladores de voltaje.

REGULADORES DE VOLTAJE.-

Existen dos reguladores, uno para voltaje positivo (LM 7812) y otro para voltaje negativo (LM 7912) cuyas características pueden observarse en las hojas de Anexos.

TRANSFORMADOR.-

Es un transformador con toma central lo que permite obtener fuentes DC positivas y negativas. Su relación de transformación es de 110v/15v AC. La capacidad de corriente en el secundario es >300 mA

ELEMENTOS VARIOS.-

Tenemos 2 potenciómetros de seguridad de 10 K Ω , interruptores de 2/1 vías, puente de diodos para 200v y 4A.

LM 1496.-

Este integrado corresponde a un modulador/demodulador balanceado, el cuál es utilizado en los módulos de modulación y demodulación de este sistema.

Es un integrado que se caracteriza por ser un excelente supresor de portadora, es completamente balanceado tanto en sus entradas como en sus salidas con una respuesta de frecuencia sobre los 100 MHz

El LM 1496 utilizado viene en un paquete metálico como se muestra en la figura 1.14.

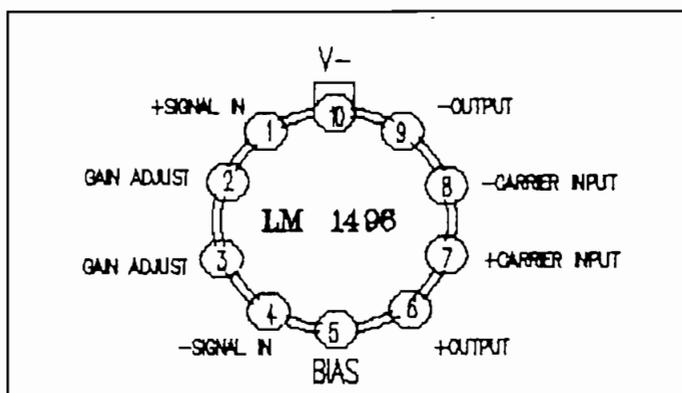


Fig. 1.14.- LM 1496

Sus principales aplicaciones son como modulador con portadora suprimida, modulador AM, detección sincrónica, detector de PM y FM.

Entre sus características tenemos:

Rango de temperatura para operación 0-70 grados C.

Potencia de disipación interna 500 mW

NOTA.- Para mayores detalles de los integrados LM 301 y LM 1496 se puede recurrir a las páginas de anexos donde están tablas y cuadros detallados.

CAPITULO II.-

2.1.- Función de cada uno de los bloques que constituyen el sistema.-

Luego de haber estudiado en forma teórica los elementos a ser utilizados en la construcción del sistema de grabación de varios canales en una misma pista de cinta magnética, como también el haber desarrollado el diagrama de bloques para el funcionamiento del sistema, es de mucha importancia analizar en este capítulo el porqué de la utilización de los distintos bloques o módulos para el funcionamiento correcto del sistema.

El análisis de los diferentes bloques que constituyen este sistema de grabación deberá tomar en cuenta:

- La función que desempeña cada uno de ellos
- La interrelación con los otros bloques del sistema
- El momento en que estos entran en operación
- El desarrollo de un diagrama funcional de cada bloque

Los bloques que constituyen este sistema son:

- Amplificación
- Grabación
- Modulación para grabación
- Sumador para grabación
- Filtros para grabación
- Reproducción
- Demodulación para reproducción
- Filtros para reproducción
- Sistema de control

A continuación presentamos la utilidad e importancia que tienen cada uno de ellos para el funcionamiento del sistema.

2.1.1.- Amplificación.-

Este bloque esta conformado por 3 amplificadores externos y 2 amplificadores internos.

Los amplificadores externos son aquellos que tienen como función el obtener un voltaje adecuado de las señales de audio externas al sistema (a ser grabadas en los diferentes canales para que el trabajo de los moduladores sea óptimo.

Estos se encuentran relacionados con las entradas al sistema y con los filtros pasa bajos de grabación.

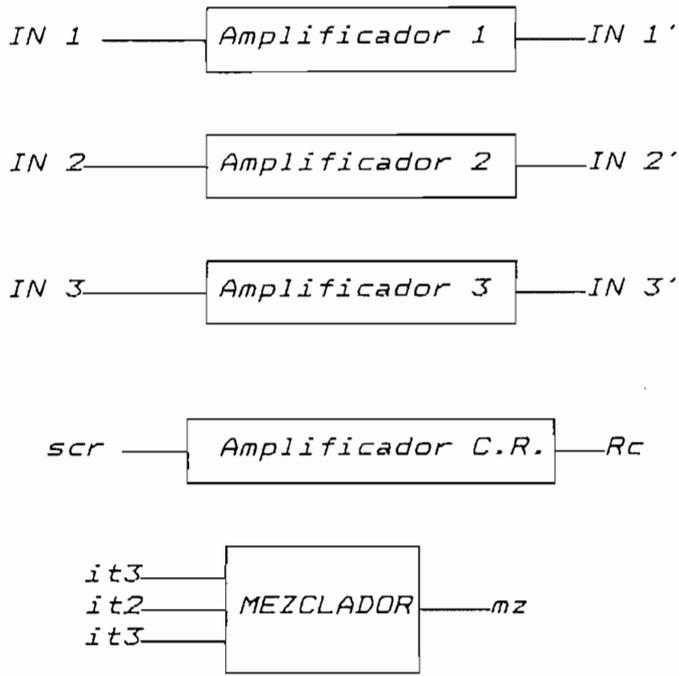
El funcionamiento de estos amplificadores es indispensable unicamente en grabación.

De los amplificadores internos el primero tiene como función amplificar la señal de la cabeza de reproducción hasta un nivel de voltaje adecuado para el trabajo de los demoduladores y el segundo a más de obtener un voltaje deseado en su salida para los circuitos de reproducción opera como un mezclador de las señales que van a ser reproducidas.

El amplificador de la cabeza de reproducción trabaja en reproducción para los tres canales por lo que su salida está relacionada físicamente con el sistema de control.

El mezclador es indispensable unicamente en reproducción y sus entradas provienen del sistema de control el cual en reproducción por canal le comunica con las salidas de los demoduladores .

A continuación se presenta el diagrama funcional de este módulo.



2.1.2.- Grabación.-

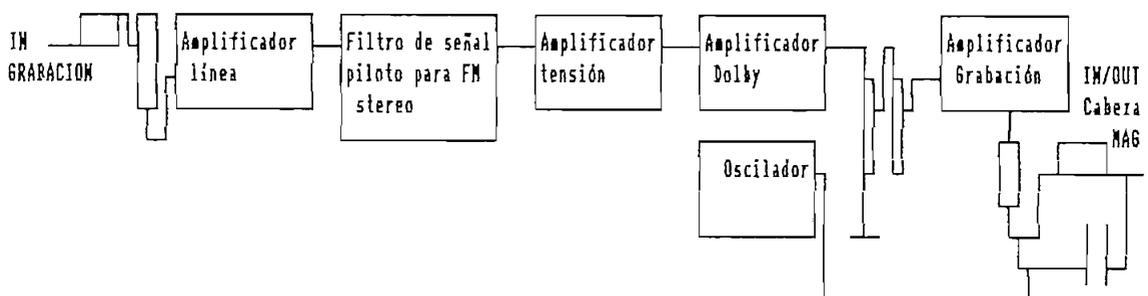
Este bloque de vital importancia para el funcionamiento del sistema es aquel que se encarga de grabar la información de las señales de audio, de los tres canales las cuales ya han sido procesadas por otros bloques del sistema, en una cinta magnética.

Este bloque de grabación se encuentra dentro del magnetófono modificado que ya lo hemos estudiado en el capítulo anterior.

Esta relacionado físicamente con el sumador de grabación y es la señal que este le entrega la que será procesada por este módulo para almacenar la información en la cinta magnética.

Este módulo opera unicamente cuando se ha seleccionado en el sistema de control el proceso de grabación de información en cualquiera de los tres canales.

El diagrama funcional de este bloque es el siguiente:



2.1.3.- Modulación para grabación.-

Este módulo es el encargado de trasladar el espectro de frecuencias en banda base de la información del canal 2 ó 3, a una zona determinada dentro del ancho de banda que puede ser registrado por un magnetófono.

La importancia de este bloque de modulación es fundamental para obtener la información de los tres canales en una misma pista de cinta magnética.

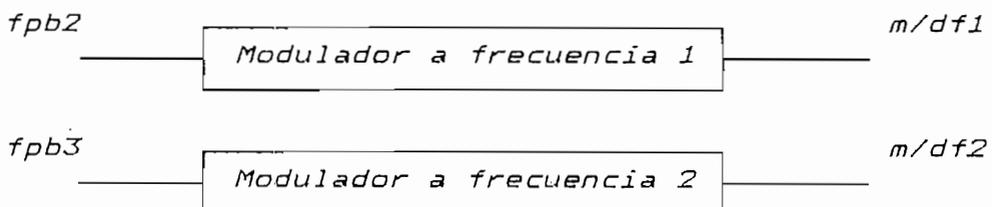
Se utilizará una modulación de amplitud modulada con portadora suprimida por la mayor facilidad que esta presenta para trabajar en bajas frecuencias, tanto en modulación como en demodulación.

Para lograr la grabación simultánea de los tres canales, este bloque estará constituido por 2 moduladores de amplitud los cuales trabajarán con una frecuencia de portadora de f_1 y f_2 respectivamente, con sus osciladores respectivos.

Estos moduladores se encuentran en funcionamiento en todo momento sea en grabación o reproducción, pero su relación física con los otros módulos depende de la función que se este realizando.

Este módulo esta relacionado físicamente con el sistema de control el cuál en grabación de canal le permite comunicarse con la salida de los filtros de grabación, y su salida con la entrada a los filtros de grabación - reproducción.

A continuación presentamos el diagrama funcional de este bloque:



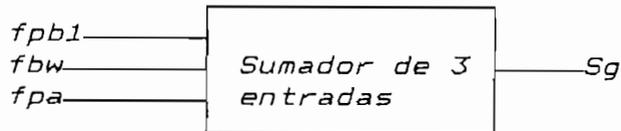
2.1.4.- Sumador para grabación.-

Este bloque es el encargado de unir las señales de los tres canales en una sola señal la cual será entregada al bloque de grabación para que esta sea registrada en la cinta magnética.

Este módulo está relacionado físicamente con los filtros de grabación-reproducción los cuales entregan las señales a ser unidas, y con el bloque de grabación a quien entrega la señal resultante.

El sumador de grabación es indispensable cuando se ha seleccionado la opción de grabación, este módulo está constituido básicamente por un amplificador operacional el cual realiza las funciones de sumador.

A continuación presentamos un diagrama funcional del mismo:



2.1.5.- Filtros para grabación.-

La importancia que cumple este bloque es fundamental para permitir que las señales que poseen la información de los tres canales que van a ser o han sido procesadas por el bloque de modulación no sean interferidas por señales no deseadas que se generan en el proceso de modulación.

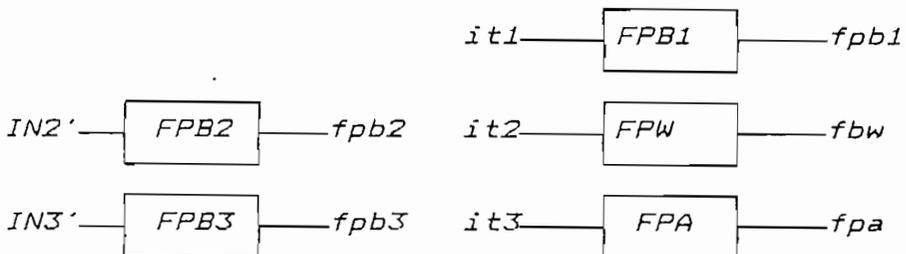
Estos filtros son los que permiten que se obtenga una modulación de banda lateral única, y son los que delimitan el ancho de banda que ocupará cada canal dentro del espectro de frecuencias que puede ser registrado por un magnetófono.

Este bloque está conformado por 2 filtros pasa bajos exclusivos para grabación y 3 filtros (pasa bajos, pasa banda y pasa altos) que pertenecen tanto a grabación como a reproducción.

Físicamente este bloque está relacionado con las salidas de los amplificadores del canal 2 y 3, el sistema de control y con el sumador de grabación a quien entrega la señal de cada canal en su zona de frecuencias asignadas.

Su funcionamiento es indispensable para el proceso de grabación de cualquier canal.

A continuación presentamos un diagrama funcional de este bloque:

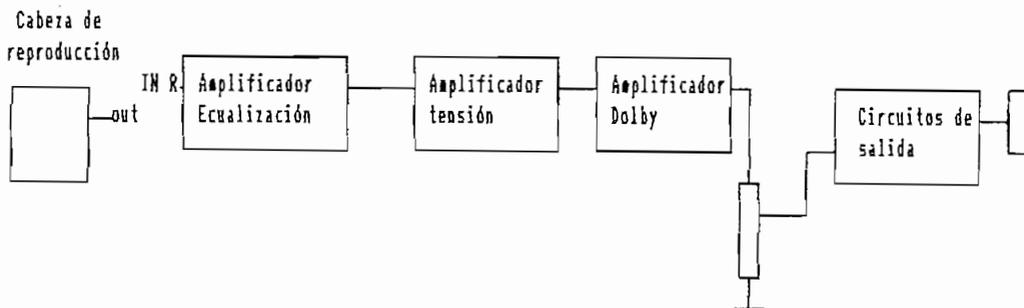


2.1.6.- Reproducción.-

Este bloque tiene dos funciones de importancia dentro de la operación del sistema de grabación, la primera función es la de recuperar la información almacenada en la cinta magnética, la cual se lleva a cabo por medio de la cabeza de reproducción, esta señal es la que será entregada al bloque demodulador.

La segunda función consiste en tomar la señal que es entregada por el filtro de reproducción y amplificarla para enviar a los circuitos y elementos de salida, la operación de esta etapa sólo se realiza en reproducción.

El diagrama funcional de este bloque, que se encuentra dentro del magnetófono modificado, presentamos a continuación:



2.1.7.- Demodulación para reproducción.-

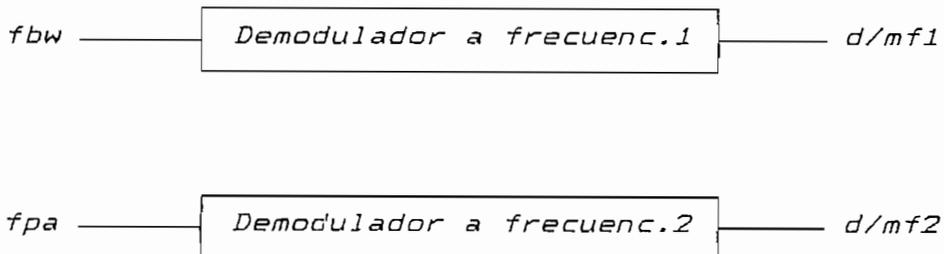
Este módulo es el encargado de obtener la información de los distintos canales en su espectro de frecuencias original, para lo cual es necesario la utilización de dos demoduladores para las frecuencias f_1 y f_2 .

Otra función complementaria que cumple este bloque es el de unir la información de los tres canales en el cual puede ser variada la amplitud de voltaje que aporte cada uno de ellos en el caso que se quiera escuchar simultáneamente más de un canal al mismo tiempo.

Este bloque físicamente está relacionado con el sistema de control el cuál en reproducción de canal le permite comunicarse con la salidas de los filtros de grabación-reproducción y con las entradas del mezclador de reproducción.

Opera en reproducción y grabación.

A continuación se presenta su diagrama funcional:



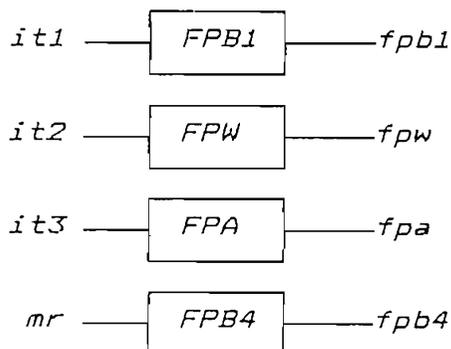
2.1.8.- Filtros de reproducción.-

Este módulo esta constituido por los filtros (pasa bajos, pasa banda y pasa altos) que pertenecen también a grabación, quienes permiten el paso de las señales grabadas de cada canal, para ser enviadas a demodulación o al mezclador de reproducción y por un filtro pasa bajos exclusivo de reproducción para permitir unicamente el paso de la banda base de información de cualquiera de los tres canales y así evitar señales audibles no deseadas que pueden permanecer luego de la demodulación.

Los filtros (pasa bajos, pasa banda y pasa altos) están relacionados físicamente con el bloque de control el cual en reproducción por canal les comunica sus entradas con la salida del amplificador de la cabeza de reproducción y sus salidas con los demoduladores y mezclador de reproducción.

El filtro pasa bajos se encuentra interconectado a su entrada con la salida del mezclador de reproducción y su salida con el bloque de reproducción.

Presentamos finalmente el diagrama funcional de este bloque:



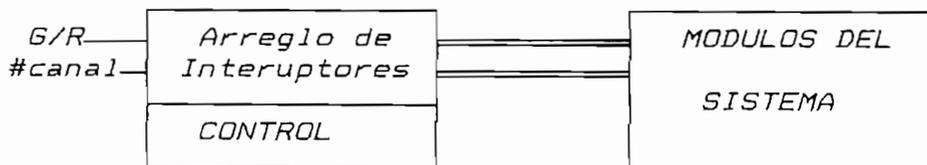
2.1.9.- Sistema de control.-

Este sistema es el encargado de poner en funcionamiento de manera correcta a los demás bloques que constituyen el sistema de grabación.

Para cumplir con su función este sistema esta constituido por interruptores para la selección del canal, los cuales indican la operación que se va a realizar en cada canal sea esta de grabación o reproducción.

En base a estos datos de información se ha hecho un arreglo físico que permita interconectar a todos los bloques del sistema de manera adecuada para obtener un correcto funcionamiento.

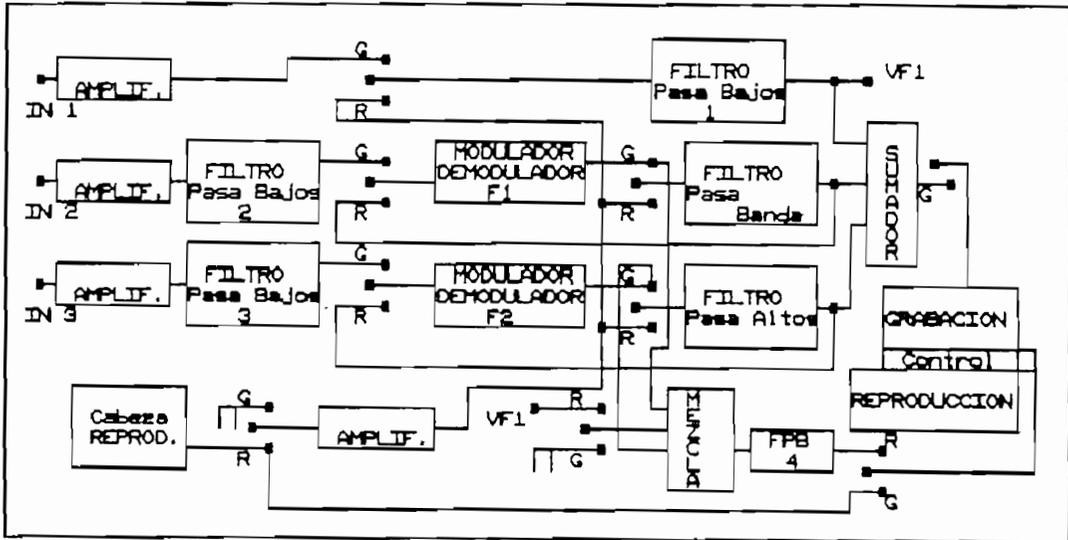
A continuación se presenta un diagrama funcional que representa este bloque:



2.2.- DIAGRAMA FUNCIONAL TOTAL DEL SISTEMA DE GRABACION.-

Luego de haber analizado el funcionamiento de cada uno de los bloques que constituyen este sistema es importante presentar de una manera global la interconexión funcional que estos presentan, lo que nos da una mayor comprensión de la operación que tiene este aparato de grabación.

Este diagrama funcional total puede observarse en el siguiente gráfico.



2.3.- Obtención de datos en el laboratorio de los elementos a utilizarse.-

Estos valores tienen que ver principalmente con el magnetófono y la cabeza de reproducción que serán utilizados para la construcción del sistema de grabación son los siguientes:

- Voltaje de alimentación = + 6v
- Frecuencia de grabación máxima = 9.0 KHz
- Voltaje de entrada a reproducción = 40 mV
- Voltaje de entrada a grabación = 800 mV
- Voltaje de salida máximo de cabeza de reproducción= 5 mV

Adicionalmente presentamos a continuación un cuadro con los rangos de frecuencia que emiten los diferentes tipos de voces.

Tipo de voz	Rango de frecuencias [Hz]
Bajo	80 - 350
Baritono	100 - 390
Tenor	120 - 520
Contraalto	185 - 700
Mezzo Soprano	175 - 870
Soprano	240 - 1170

CAPITULO III

Este capítulo de gran importancia dentro del desarrollo total del sistema de grabación nos dará a conocer los circuitos que se emplearon para la construcción de cada módulo así como también los cálculos teóricos que se realizaron para la determinación de los elementos que conforman dicho circuito y el análisis práctico realizado en el laboratorio que determinaron los elementos finales a ser utilizados.

3.1.-DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA.-

Para realizar el diseño de este sistema hemos unido algunos bloques funcionales de similares características eléctricas por lo que el sistema total ha quedado dividido en las siguientes partes:

- Adaptación del magnetófono*
- Filtros para grabación y reproducción*
- Moduladores ó demoduladores*
- Amplificadores y sumadores*
- Sistema de control*
- Fuente de alimentación*

El diseño de cualquier circuito electrónico requiere conocer los valores de las señales de entrada y salida en lo relacionado a voltaje y frecuencia.

En nuestro caso estos valores han sido calculados en base a medidas realizadas en los elementos a ser utilizados y a los requerimientos que debe presentar el sistema.

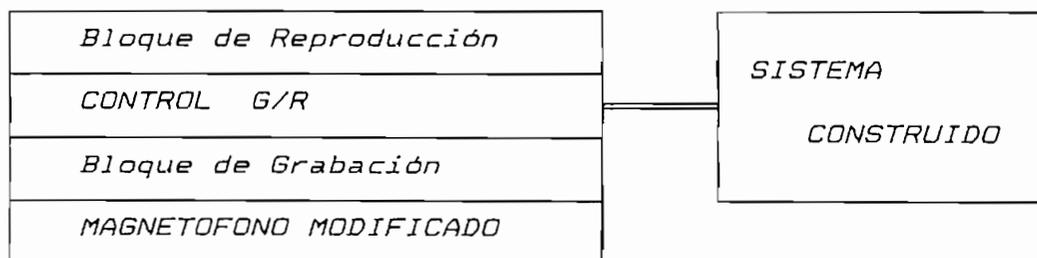
El orden en que se presentan los cálculos del diseño es de gran importancia para encadenar de la mejor forma los diferentes bloques que conforman este sistema y obtener los valores de voltaje y frecuencia para cada parte.

A continuación se presenta los Cálculos y Diseños utilizados:

3.1.1.- Adaptación del magnetófono.-

Como se había visto en los capítulos anteriores un magnetófono se compone de dos bloques fundamentales uno para grabación y otro para reproducción.

A estos dos bloques existentes en el magnetófono se los ha independizado y se añadido un interruptor de control adicional para grabación y reproducción, el cuál nos permite relacionar los bloques anteriormente mencionados y adecuarlos para relacionarse físicamente con el sistema construido como se puede observar el siguiente diagrama de bloques.



Previamente al diseño de los demás bloques de este sistema es importante conocer las características de voltaje y respuesta de frecuencia del magnetófono a ser utilizado para lo cual se han tomado los siguientes datos, los cuales son presentados en la tabla expuesta a continuación.

Respuesta de frecuencia.-

Para un mismo valor de entrada a grabación $INg=0.4$ v pp y el mismo grado de amplificación en reproducción.

<i>F[KHz]</i>	<i>OUT[mv pp]</i>
9	240
8	400
7	600
6	800
5	1200
4	1600
3	2400
2	4000
1	4000

Para una mejor visualización de los datos obtenidos presentamos a continuación el gráfico (Fig. 3.1) de respuesta de frecuencia.

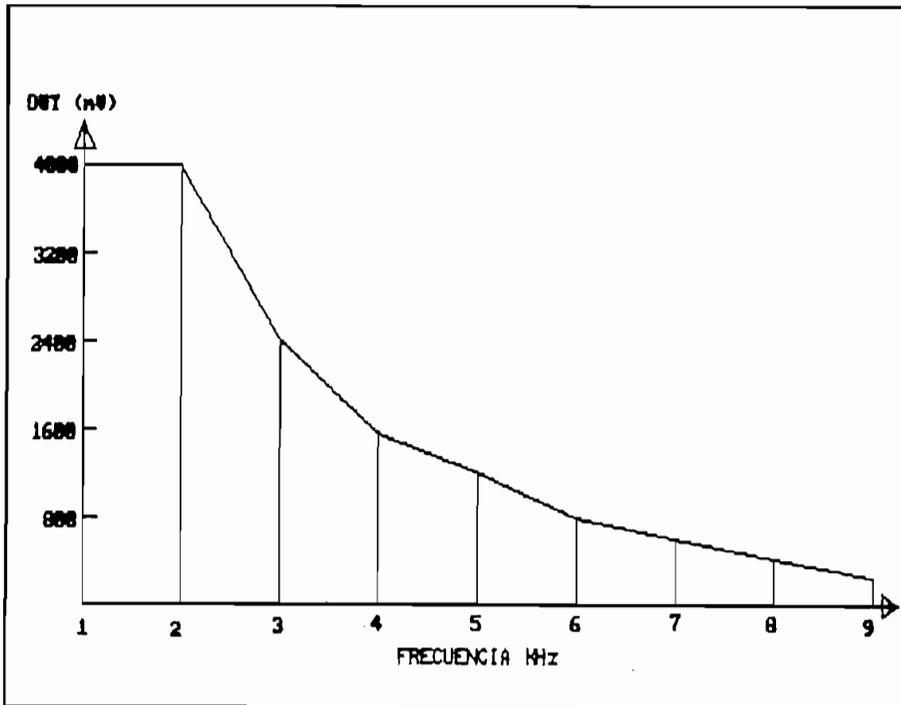


Fig. 3.1

Los valores de voltaje y frecuencia generales a los que deberán ajustarse los distintos bloques del sistema que nos proporciona el magnetófono modificado son los presentados a continuación:

- Frecuencia de grabación máxima = 9.0 KHz
- Voltaje de entrada a reproducción = 40 mV pp
- Voltaje de entrada a grabación = 800 mV pp
- Voltaje de salida máximo
de cabeza de reproducción = 5 m Vpp

Como nuestro sistema deberá registrar 3 canales en la misma pista magnética los límites entre canales serán calculados en el siguiente subtema los cuales permitirán obtener los datos necesarios para el diseño de los filtros.

3.1.2.- Filtros para grabación y reproducción.-

El tipo de filtros utilizado en este sistema corresponde a los filtros de Tchebyscheff los cuáles fueron seleccionados por las mejores características que presentan para nuestro caso como son:

- Poca distorsión en la banda de paso.
- Corte bastante abrupto cerca de la frecuencia de corte
- Frecuencias de trabajo menores a 100 KHz
- Facilidad para la calibración del mismo
- Elementos de fácil acceso en el mercado

El circuito general de estos filtros para orden 2 es el siguiente (Fig. 3.2).

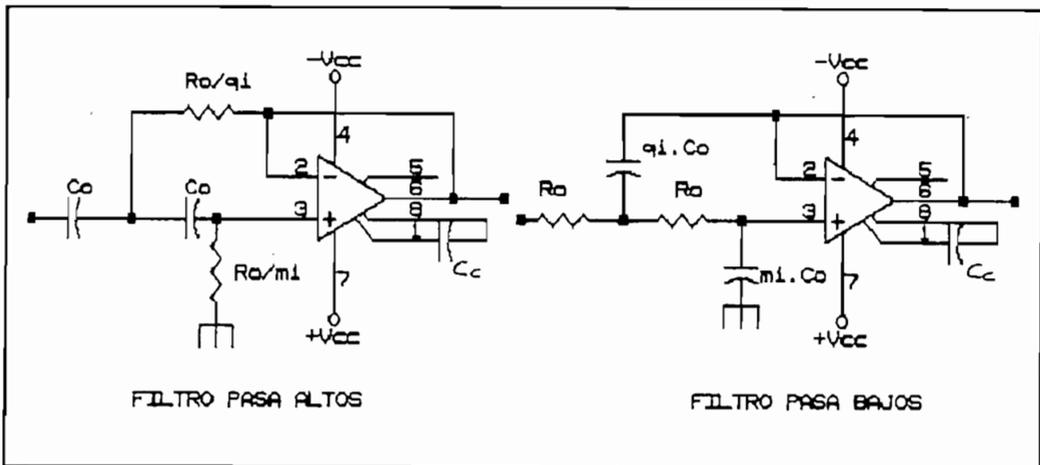


Fig. 3.2

Para orden impar se aumenta una red R-C simple a la salida del operacional, pero prácticamente esta presenta problemas debido al efecto de carga que le ocasionan los de más circuitos por lo que aquí no se le ha tomado en cuenta.

La formación de un filtro pasa banda se le consigue con la unión de los dos filtros mostrados en la figura.

Los valores de m_i , q_i y el inverso de la función de transferencia del filtro se los obtiene en las tablas para los filtros de Tchebysceff (ver en páginas de anexos) los que han sido calculados en base a funciones elípticas.

En los filtros pasa bajos el inverso de la función de transferencia es la indicada en las tablas, para los filtros pasa altos reemplazamos p por $1/p$ para obtener la función de transferencia correcta.

El orden del filtro se calcula en base a los requerimientos deseados como son:

- Frecuencia de corte deseada f_c
- Amortiguamiento máximo tolerable (A_{max}) en la banda de paso
- Amortiguamiento mínimo (A_{min}) en la banda atenuada a partir de una frecuencia determinada f_a

En la figura 3.3 mostrada a continuación se presenta la plantilla de un filtro .

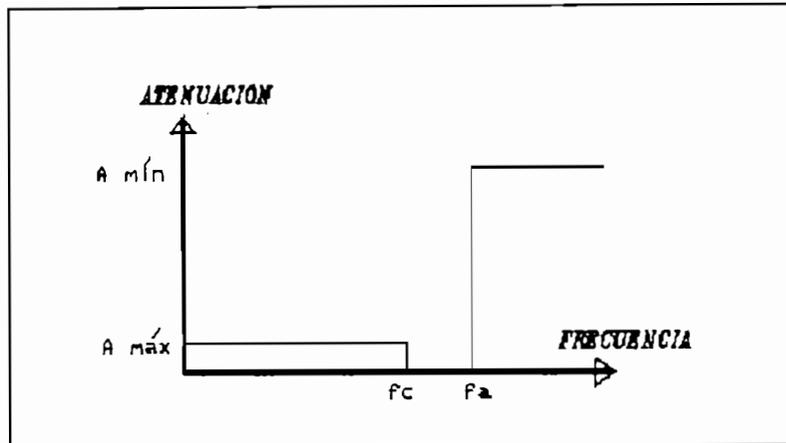


Fig. 3.3

Con los valores de f_c y f_a podemos calcular la constante de separación $1/k$ que para un filtro pasa bajos es:

$$1/k = f_a/f_c \quad \text{Ec. 3.1}$$

Para un filtro pasa altos $1/k = f_c/f_a$ Ec. 3.2

Obtenido $1/k$, $A_{máx}$ y $A_{mín}$ en el ábaco de los filtros de Tchebyscheff podemos obtener el orden del filtro que se necesita, el procedimiento de obtención es el mostrado en la figura 3.4 (página siguiente).

Conociendo el orden de filtro, $A_{máx}$ y $A_{mín}$ en las tablas determinamos los valores de m_i, q_i, V_m y f_m estos dos últimos representan la amplificación de la señal en $f = f_m * f_c$ y son utilizados en la parte práctica para la calibración del filtro.

En el gráfico 3.4 se puede observar que para las mismas condiciones de $A_{máx}$ y $A_{mín}$ el orden del filtro aumenta y por lo tanto su complejidad a medida que disminuya la constante de separación $1/k$.

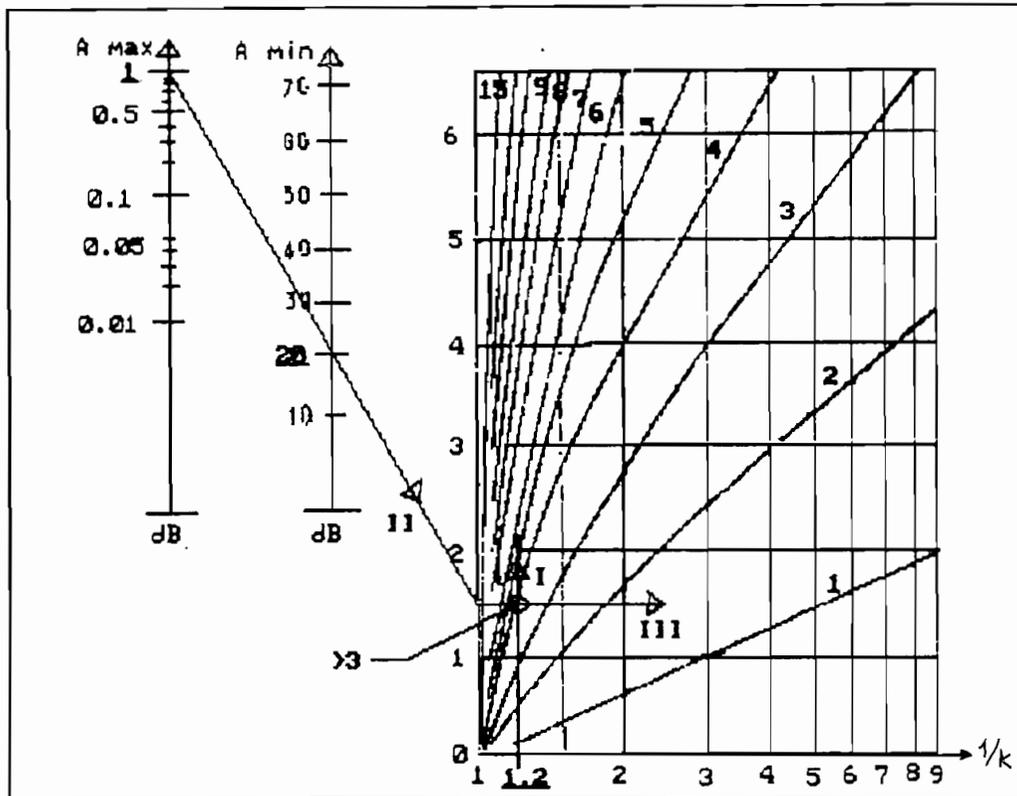


Fig. 3.4

En nuestro caso se asume una constante de separación $1/k=1.2$ la cual nos permitirá tener filtros de un orden no demasiado alto y que no influirá mayormente en el espectro audible que le corresponderá a cada canal.

Con relación a los valores de A_{max} y A_{min} los cuales influyen en el orden del filtro así como también en la calidad de la señal filtrada hemos seleccionado $1dB$ y $20dB$ respectivamente los que satisfacen correctamente en la calidad de la señal filtrada como en la atenuación de componentes no deseadas.

Los valores de $1/k$, A_{max} y A_{min} asumidos para el diseño de casi todos los filtros a excepción del filtro de grabación del canal 3 para el cuál $1/k=2$, los filtros requeridos a construirse son de 4to orden en su mayoría como se puede ver en el gráfico 3.4 .

A continuación se presenta una parte la tabla T13 para los valores de $A_{m\max}=1\text{dB}$; $A_{m\min}=20\text{dB}$ para los filtros de 2º y 4º orden.

N	circuito	a	q	V_n	F_n	Función de Transferencia
2	1	0.4978	1.8219	1.12	0.707	$(0.907 p^2 + 0.9956 p + 1)$
4	1	0.1414	7.1666	3.59	0.973	$(1.0136 p^2 + 0.2828 p + 1)$
	2	1.2056	2.9685	1.01	0.228	$(3.5791 p^2 + 2.4113 p + 1)$

El valor de los elementos R_o y C_o se calculan a partir de la frecuencia de corte para lo cual se puede asumir un valor adecuado para R_o ó C_o tomando en cuenta la impedancia de entrada y salida del amplificador operacional, que para nuestro caso el LM 301 es más recomendado para este tipo de filtros.

Estos valores de R_o ó C_o asumidos pueden ser distintos para cada circuito en filtros de orden mayor a 2 ya que gracias al Amp. Op. estos trabajan como módulos independientes.

La ecuación que relaciona a estos elementos es la siguiente:

$$f_c = 1 / (2\pi C_o * R_o) \quad \text{Ec. 3.3}$$

Con el factor de separación f_s igual a 1.2, sabiendo que el número de canales es tres y conociendo que 9 KHz es el ancho total que se puede registrar en el magnetófono calculamos el ancho de banda BW que utilizara cada canal, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$9 = (BW * f_s + BW) * f_s + BW \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$9 = 2.2BW * 1.2 + BW - BW = 2.47$$

Asumiremos $BW=2.30$ KHz para asegurar la grabación de información del tercer canal, con este valor los límites en el espectro de frecuencia serán los siguientes:

CANAL 1	$0 - BW$	=>	$0.00 - 2.30$ KHz
CANAL 2	$BW * fs - (BW * fs + BW) = L$	=>	$2.80 - 5.06$ KHz
CANAL 3	$L * fs - L * fs + BW$	=>	$6.07 - 8.37$ KHz

Obtenidos los límites de frecuencia para cada canal y las condiciones para operación de los filtros presento a continuación el diseño particular de cada uno de ellos.

Filtros pasa bajos de 4to orden.-

Utilizaremos 3 filtros de este tipo (canal 1, canal 2 y reproducción) con las mismas características que se indican a continuación:

-frecuencia de corte $f_c=2.3$ KHz

-constante de separación $1/k=1.2 \Rightarrow f_a=2.8$ KHz

$-A_{m\pm n}=20$ dB $A_{m^*x}=1$ dB

Para estos datos los valores de m_i y q_i se obtienen en la tabla T13 para $N=4$ y son los siguientes:

$m_1=0.1414$ $q_1=7.1666$ $m_2=1.2056$ $q_2=2.9685$

Asumiendo valores para R_o utilizando las fórmulas vistas anteriormente se calcularon los siguientes valores que se pueden observar en la siguiente tabla.

Valores de elementos para un F.P.Bajos de 4to orden a 2.3KHz

R [KΩ] C [nF]

R_o	C_o	$m_1 * C_o$	$q_1 * C_o$	$m_2 * C_o$	$q_2 * C_o$
5.6	6.178	0.874	44.278	7.449	18.340
6.8	5.088	0.719	36.464	6.134	15.104
7.5	4.613	0.652	33.061	5.562	13.694
8.2	4.219	0.597	30.239	5.087	12.525
<u>9.1</u>	3.802	0.538	27.248	<u>4.584</u>	<u>11.286</u>
10.0	3.460	0.489	24.796	4.171	10.271
<u>12.0</u>	2.883	<u>0.408</u>	<u>20.663</u>	3.476	8.559
15.0	2.307	0.326	16.530	2.781	6.847

De estos valores los escogidos tomando en cuenta los valores de condensadores que se disponían fueron:

Para el circuito 1: $R_o=12$ KΩ $C_o * m_1=470$ pF $C_o * q_1=20$ nF

Para el circuito 2: $R_o=9.1$ KΩ $C_o * m_2=5$ nF $C_o * q_2=11.3$ nF

Luego de realizarse las pruebas de laboratorio armando el circuito en el project board como en el impreso los elementos que permitieron el funcionamiento del filtro más cerca de los requerimientos deseados son los que pueden observar en el siguiente gráfico (Fig. 3.5).

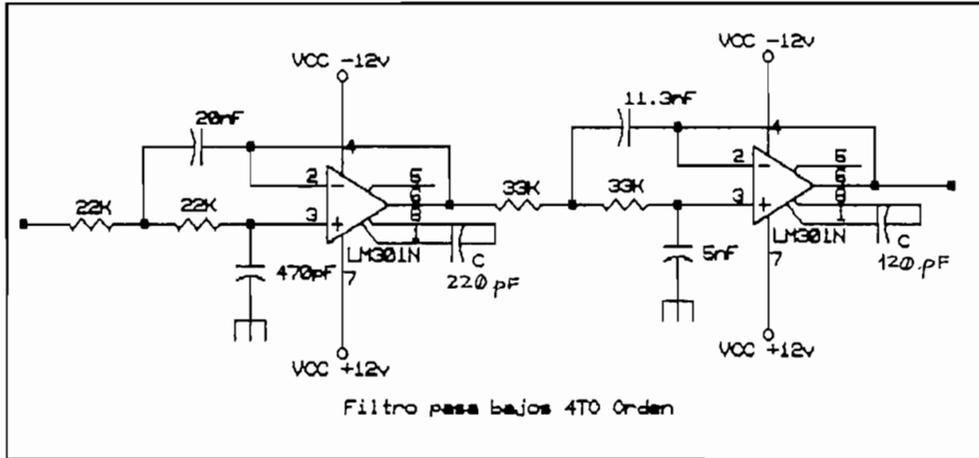


Fig. 3.5

Filtro pasa bajo canal 3.-

Este filtro de segundo orden presenta las siguientes características:

- frecuencia de corte $f_c=2.3$ KHz
- constante de separación $1/k=2 \Rightarrow f_a=4.6$ KHz
- $A_{m\pm n}=20$ dB $A_{m\ast x}=1$ dB

Para estos datos los valores de m_i y q_i se obtienen en la tabla T13 para $N=2$ y son los siguientes:

$$m_1=0.4978 \quad q_1=1.8219$$

Asumiendo distintos valores de R_o se obtuvo la siguiente tabla.

Valores de elementos para un F.P. Bajos de 2^{do} Orden a 2.3KHz

R [K Ω] C [nF]

R_o	C_o	$m1 * C_o$	$q1 * C_o$
3.6	9.611	4.784	17.510
4.7	7.361	3.665	13.412
5.6	6.178	3.076	11.256
<u>6.8</u>	<u>5.088</u>	<u>2.533</u>	<u>9.270</u>
7.5	4.613	2.296	8.405
8.2	4.219	2.100	7.687
10.0	3.460	1.722	6.304
12.0	2.883	1.435	5.253

En base a los condensadores disponibles seleccionamos los siguientes: $R_o = 6.8 \text{ K}\Omega$ $m1 * C_o = 2.6 \text{ nF}$ $q1 * C_o = 10 \text{ nF}$
 Luego de las pruebas de laboratorio el circuito con los elementos definitivos es el mostrado en la fig.3.6 siguiente.

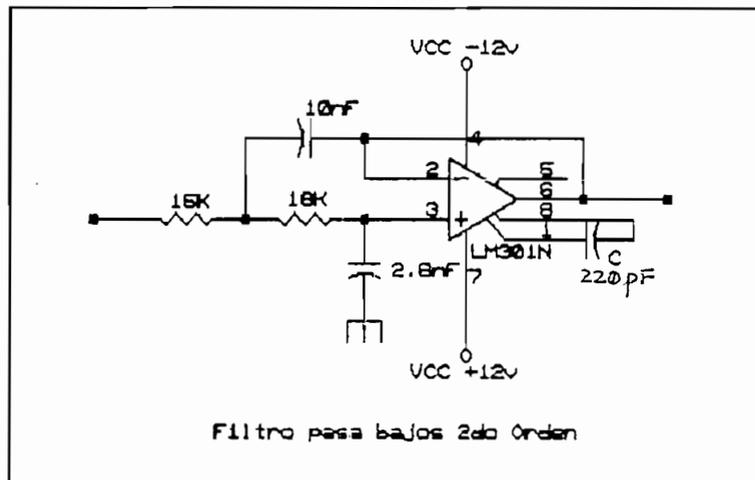


Fig. 3.6

Filtro pasa altos.-

Utilizado para obtener la modulación de banda lateral única para el canal 3 y eliminar la información de los otros canales en el proceso de reproducción, es un filtro que debe cumplir con las siguientes condiciones.

-frecuencia de corte $f_c=6.07$ KHz

-constante de separación $1/k=1.2 \Rightarrow f_a=5.06$ KHz

$-A_{m\pm n}=20$ dB $A_{m\pm x}=1$ dB

Para estos datos los valores de m_i y q_i se obtienen en la tabla T13 para $N=4$ y son los siguientes:

$m_1=0.1414$ $q_1=7.1666$ $m_2=1.2056$ $q_2=2.9685$

Asumiendo valores para C_o utilizando las fórmulas vistas anteriormente se calcularon los siguientes valores que se pueden observar en la siguiente tabla.

Valores de elementos para un F.P. Altos a 6.07 KHz
C [nF] R [K Ω]

C_o	R_o	R_o/m_1	R_o/q_1	R_o/m_2	R_o/q_2
1.0	26.220	185.430	3.659	21.748	8.833
2.2	11.918	84.287	1.663	9.886	4.015
3.9	6.723	47.546	0.938	5.577	2.265
5.0	5.244	37.086	0.732	4.350	1.767
<u>10.0</u>	<u>2.622</u>	<u>18.543</u>	<u>0.366</u>	<u>2.175</u>	<u>0.883</u>
20.0	1.311	9.272	0.183	1.087	0.442
25.0	1.049	7.417	0.146	0.870	0.353
33.0	0.795	5.619	0.111	0.659	0.268

Se escogió $C_o=10$ nF por lo que los valores de las resistencias aproximados a valores normalizados en Ω fueron:

$R_o/m_1=18$ K $R_o/q_1=330$ $R_o/m_2=2.2$ K $R_o/q_2=820$

El circuito con los elementos finales es el siguiente :

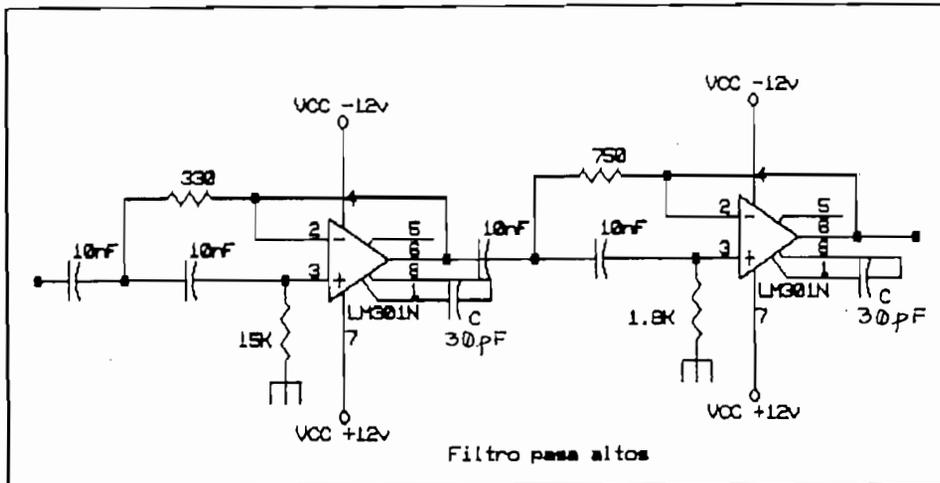


Fig. 3.7

Filtro pasa banda .-

La realización de este filtro se hará en base a la unión de dos filtros un pasa bajos y un pasa altos los que serán diseñados por separado.

Ambos filtros deben cumplir con las siguientes condiciones generales:

-constante de separación $1/k=1.2$

$-A_{m\pm n}=20$ dB $A_{m\pm x}=1$ dB

Para estos datos los valores de m_i y q_i se obtienen en la tabla T13 para $N=4$ y son los siguientes:

$m_1=0.1414$ $q_1=7.1666$ $m_2=1.2056$ $q_2=2.9685$

En el filtro pasa bajos la frecuencia de corte es 5.06 KHz por lo tanto $f_c=6.07$ KHz, asumiendo valores para R_o obtenemos la siguiente tabla.

Valores de elementos para un F.P. Bajos a 5.06 KHz

R [$K\Omega$] C [nF]

R_o	C_o	$m_1 * C_o$	$q_1 * C_o$	$m_2 * C_o$	$q_2 * C_o$
1.5	10.484	1.483	75.138	12.640	31.123
<u>1.8</u>	8.737	1.235	62.615	<u>10.533</u>	<u>25.936</u>
2.2	7.149	1.011	51.231	8.618	21.220
3.6	4.369	0.618	31.308	5.267	12.968
<u>4.7</u>	3.346	<u>0.473</u>	<u>23.980</u>	4.034	9.933
5.6	2.808	0.397	20.126	3.386	8.337
6.8	2.313	0.327	16.575	2.788	6.865
7.5	2.097	0.297	15.028	2.528	6.225
8.2	1.918	0.271	13.745	2.312	5.693

Los elementos seleccionados son:

Para el circuito 1: $R_o=4.7 K\Omega$ $C_o * m_1=470 pF$ $C_o * q_1=20 nF$

Para el circuito 2: $R_o=1.8 K\Omega$ $C_o * m_2=10 nF$ $C_o * q_2=25 nF$

Luego de realizarse las pruebas de laboratorio el circuito con sus elementos finales puede verse en el gráfico (Fig.3.8) a continuación.

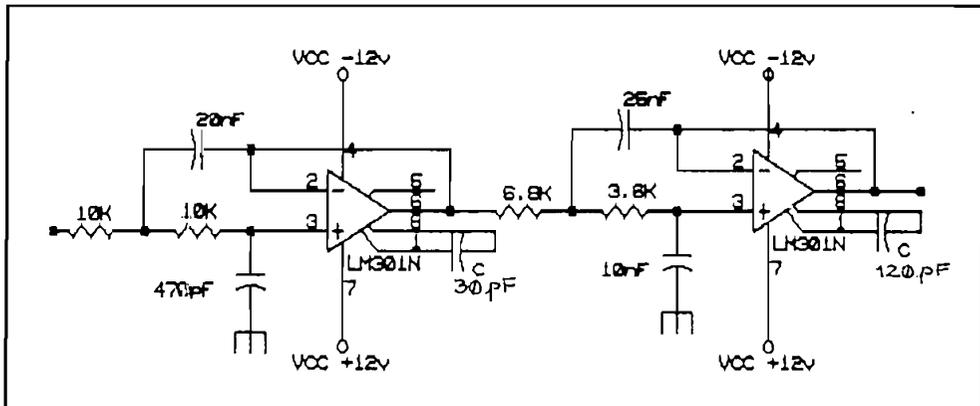


Fig. 3.8

En el filtro pasa altos la frecuencia de corte es 2.8 KHz esto implica que $f_c=2.3$ KHz, asumiendo valores para C_0 tenemos la siguiente tabla.

Valores de elementos para un F.P. Altos a 2.8 KHz

C [nF] R [K Ω]

C_0	R_0	$R_{0/m1}$	$R_{0/q1}$	$R_{0/m2}$	$R_{0/q2}$
1.0	56.841	401.987	7.931	47.147	19.148
2.2	25.837	182.721	3.605	21.431	8.704
3.9	14.575	103.074	2.034	12.089	4.910
5.0	11.368	80.397	1.586	9.429	3.830
10.0	5.684	40.199	0.793	4.715	1.915
20.0	2.842	20.099	0.397	2.357	0.957
<u>25.0</u>	<u>2.274</u>	<u>16.079</u>	<u>0.317</u>	<u>1.886</u>	<u>0.766</u>
33.0	1.722	12.181	0.240	1.429	0.580
47.0	1.209	8.553	0.169	1.003	0.407

Se escogió $C_0=25$ nF por lo que los valores de las resistencias aproximados a valores normalizados en Ω fueron:

$R_{0/m1}=15$ K Ω $R_{0/q1}=330$ Ω $R_{0/m2}=1.8$ K Ω $R_{0/q2}=750$ Ω

Luego de realizarse las pruebas de laboratorio el circuito con los elementos finales puede verse en la figura 3.9 a continuación.

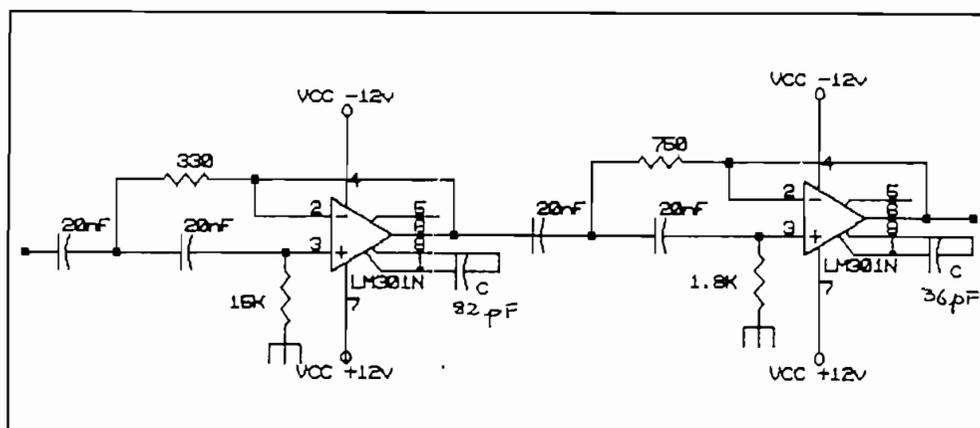


Fig. 3.9

3.1.3.- Moduladores ó Demoduladores.-

Para una misma frecuencia los moduladores y demoduladores corresponden a un mismo circuito en los cuales cambian unicamente las señales (modulante y salida) que se relacionan con los otros módulos del sistema las cuales con ayuda del sistema de control direccionan las señales utilizadas.

Este circuito mod/dem está formado por dos subcircuitos:

- El modulador de portadora suprimida que constituye un circuito general para cualquier frecuencia.
- El generador de la onda sinusoidal.- el cuál determina la frecuencia a la que se realizará la función de modulación ó demodulación.

Modulador/Demodulador.-

Se utilizará un circuito modulador en amplitud con portadora suprimida por las siguientes razones:

- Aprovechar de mejor forma la zona comprendida entre saturación y remanencia que presentan las cintas magnéticas y así evitar grabar una señal que no contiene información y limita la amplitud de las señales de los tres canales.

- Evitar el aparecimiento de una señal audible de baja frecuencia que puede ser tomada como ruido en el caso que se produzca una variación en la frecuencia que nos proporciona el oscilador.

Matemáticamente la modulación en amplitud con portadora suprimida se expresa de la siguiente forma:

$$s(t) = f(t) * \cos \omega t$$

Donde $f(t)$ es la señal vocal en banda base a ser modulada.

En el proceso de demodulación $s(t)$ actúa como señal modulante por lo que a la salida tenemos:

$$s_1(t) = s(t) * \cos \omega t$$

sustituyendo:

$$s_1(t) = f(t) * \cos \omega t * \cos \omega t = f(t) * \cos^2 \omega t$$

$$s_1(t) = f(t) * [1 - \cos 2\omega t]$$

Aplicando la transformada de Fourier, gráficamente los espectros de frecuencia de $f(t)$, $s(t)$ y $s_1(t)$ pueden observarse en el siguiente gráfico Fig. 3.10

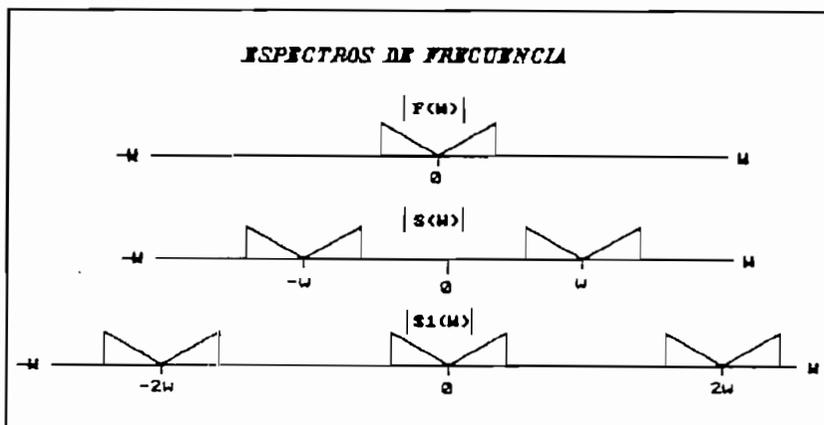


Fig. 3.10

El circuito modulador con portadora suprimida que se implementa ha sido tomado de una de las aplicaciones del LM 1496 (págs. anexos) hay que tomar en cuenta los siguientes datos que han sido tomados en el laboratorio para que su funcionamiento sea el más adecuado:

- Voltaje de entrada para portadora 0.4v pp
- Voltaje de entrada para modulante 1.0v pp
- Voltaje de salida (señal mod/dem) 0.2v pp

El circuito utilizado para los dos moduladores puede observarse en el siguiente gráfico Fig. 3.11

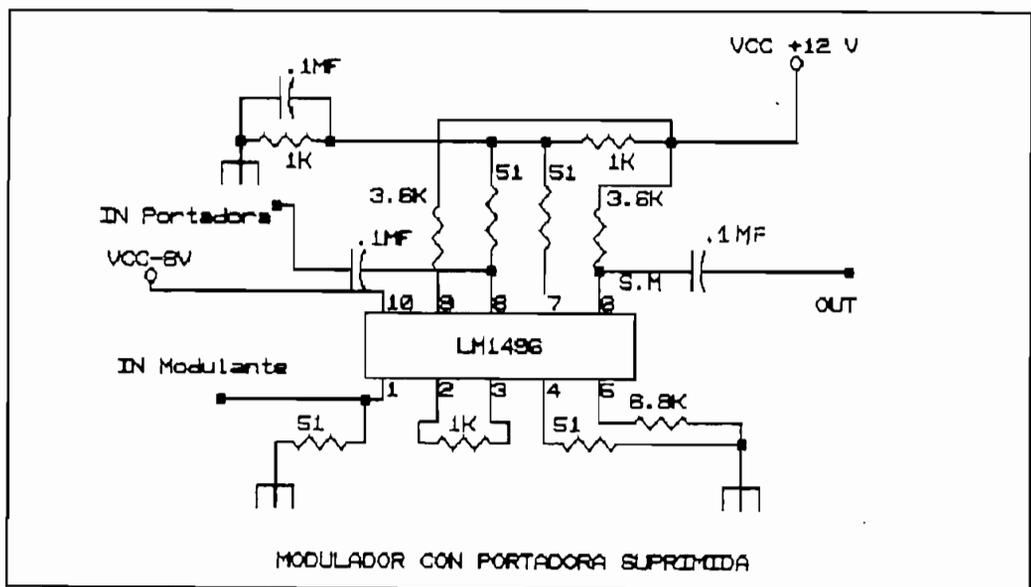


Fig. 3.11

Diseño del Oscilador.-

La frecuencia de los osciladores se determina a partir del ancho de banda BW de cada canal de información y la constante de separación k que existe entre ellos.

Así la frecuencia para el primer oscilador

$$f_1 = BW + k \cdot BW = BW(1+k)$$

para el segundo

$$f_2 = (f_1 + BW)(1+k)$$

en general

$$f_n = (f_{n-1} + BW)(1+k) \quad \text{Ec. 3.5}$$

donde $f_0 = 0$

El circuito que se implementará para la obtención de la onda senoidal es el constituido por un generador de onda cuadrada, en base a un disparador de Schmitt y un filtro pasa bajo de segundo orden, el cuál se encargará de obtener la amplitud deseada para la frecuencia fundamental y eliminar los armónicos no deseados que se encuentran presentes en la onda cuadrada.

Estos circuitos se realizarán en base a la utilización de amplificadores operacionales (LM 301)

Análisis matemático.-

Partimos de la utilización del amplificador operacional como un Disparador de Schmitt simétrico donde se cumple:

$$v_{on} = -v_{off} \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$|v_{on}| = R_y \cdot V_{cc} / (R_x + R_y) \quad \text{Ec. 3.7}$$

Tanto el circuito del Disparador de Schmitt como su curva de histéresis pueden verse en la figura 3.12.

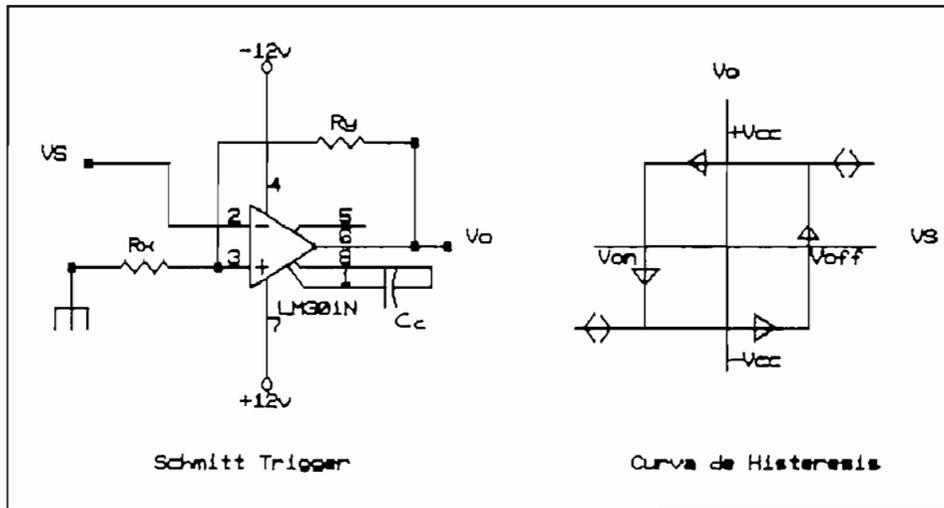


Fig. 3.12

Si conectamos una resistencia R entre la salida y la entrada negativa del operacional y un condensador C entre la entrada negativa y tierra como se muestra en la Fig. 3.13 obtendremos un aestado cuya frecuencia de oscilación dependería de los valores de los elementos colocados.

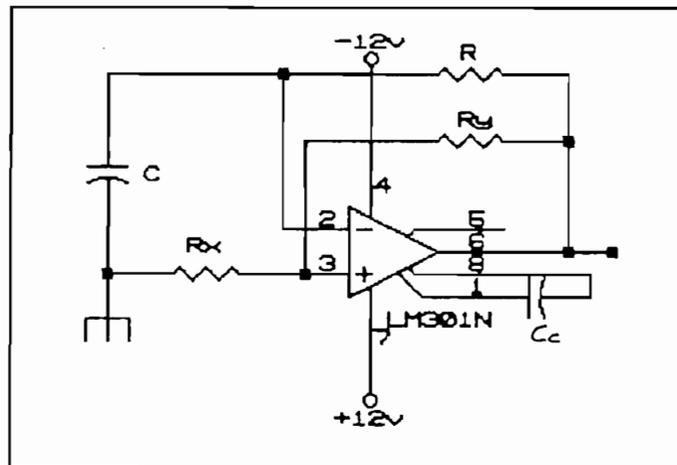


Fig. 3.13

La forma de onda que se tendría en el condensador sería la mostrada a continuación:

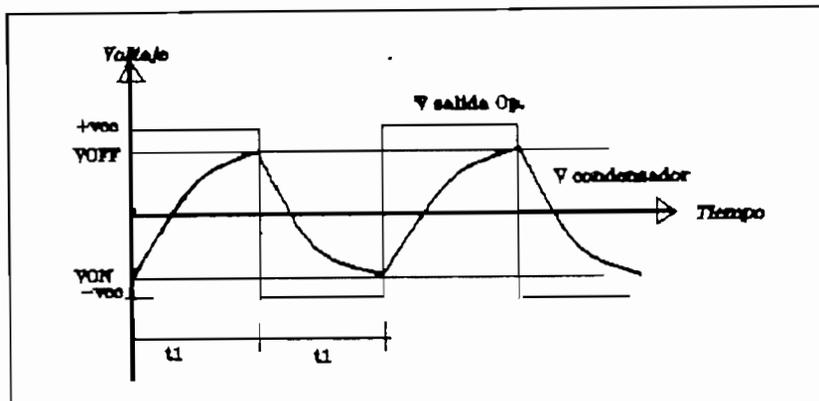


Fig. 3.14

Matemáticamente la ecuación de carga o descarga de voltaje en el condensador es:

$$V_c = V_m(1 - e^{-t/RC}) + K \quad \text{Ec. 3.8}$$

donde V_m es la máxima diferencia de voltaje existente entre el condensador y la salida V_o por lo tanto

$$V_m = V_o + R_y * V_o / (R_x + R_y) \quad \text{Ec. 3.9}$$

en $t=0$

$$V_c = -V_{cc} * R_y / (R_x + R_y) = K$$

en $t=t_1$

$$V_c = V_{cc} * R_y / (R_x + R_y)$$

$$V_c = (V_{cc} + V_{cc} * R_y / (R_x + R_y)) * (1 - e^{-t_1/RC}) - V_{cc} * R_y / (R_x + R_y)$$

simplificando:

$$R_y / (R_x + R_y) = (1 + R_y / (R_x + R_y)) * (1 - e^{-t_1/RC}) - R_y / (R_x + R_y)$$

$$2R_y = (R_x + 2R_y) * (1 - e^{-t_1/RC})$$

$$e^{-t_1/RC} = 1 - 2R_y / (R_x + 2R_y)$$

$$\ln(e^{-t_1/RC}) = \ln(R_x / (R_x + 2R_y)) = -t_1/RC$$

determinamos: $t_1 = RC * \ln(1 + 2R_y/R_x)$ sabemos que: $T = 2t_1$ $f = 1/T$

Entonces :

$$f = 1 / (2RC * \ln(1 + 2R_y/R_x))$$

Ec. 3.10

Esta fórmula encontrada es la que nos permite calcular los elementos adecuados para obtener la frecuencia deseada.

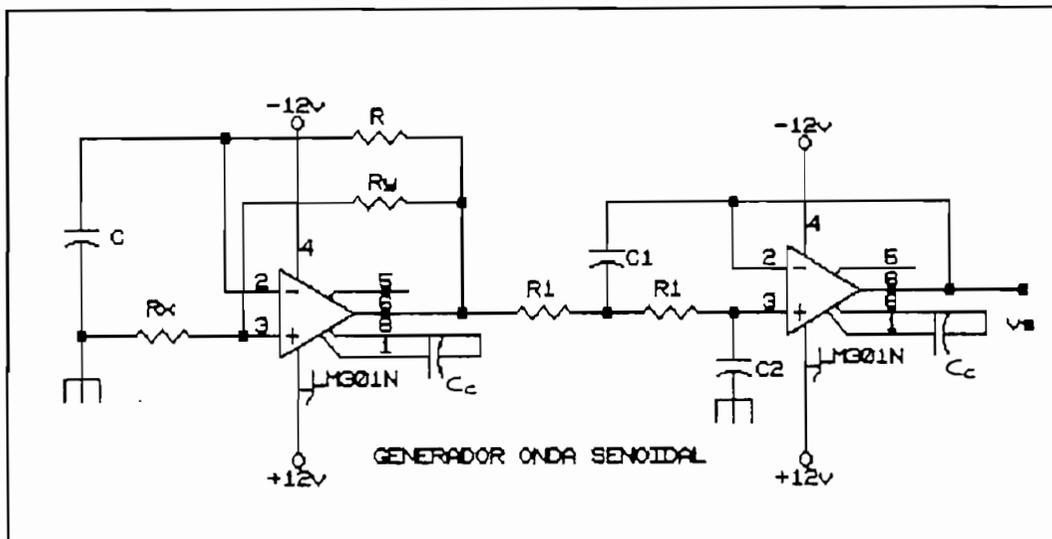


Fig. 3.15

Como nosotros necesitamos una onda senoidal de una amplitud determinada utilizamos a continuación un filtro pasa bajo de segundo orden (Fig. 3.15) el cuál es suficiente para eliminar las demás componentes armónicas de la onda cuadrada que en series de Fourier se expresa de la siguiente manera:

$$V_o = V_{cc} \frac{4}{3} \cdot 1.4 (\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \dots) \quad \text{Ec. 3.11}$$

Se puede ver que la constante de separación para el peor de los casos es igual a 3 lo que es bastante alta.

Para obtener la amplitud deseada es importante determinar la frecuencia de corte para que a la frecuencia deseada exista la atenuación adecuada, sabiendo que un filtro de 2do grado tiene una recta de atenuación de 40 dB por década la cual matemáticamente se puede expresar:

$$A_x(\text{dB}) = 40 \log (f_x/f_c) \quad \text{para } f_x > f_c \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$A_x(\text{dB}) = 20 \log(V_{cc}/V_{fx}) \quad \text{Ec. 3.13}$$

donde V_{fx} es el valor de amplitud deseado

Por lo tanto la frecuencia de corte del filtro será:

$$f_c = f_x / \log^{-1}(A_x/40) \quad \text{Ec. 3.14}$$

Esta ecuación nos permitida calcular los elementos f_c a utilizarse como guía para la obtención del filtro deseado.

Previamente al cálculo de los elementos de los 2 osciladores a ser implementados determinaremos las condiciones generales que estos deben cumplir para que el funcionamiento de los moduladores sea el adecuado.

$$- V_{fx} = 0.8 \text{ v pp como } V_{cc \text{ pp}} = 24 \text{ v } \Rightarrow$$

$$A_x(\text{dB}) = 20 \log(24/0.8) = 29.54$$

$$- R_x = R_y = 150 \text{ K}\Omega$$

Oscilador a 2.8 KHz.-

Para el aestado que nos dará la frecuencia fundamental utilizaremos un potenciómetro de 10 KΩ para la calibración de la frecuencia deseada, pero para el cálculo del condensador C supondremos que R=5 KΩ por lo que utilizando la ecuación 3.10 tenemos:

$$C = 1/2fR \ln 3 \quad \text{para } f = 2.8 \text{ KHz} \quad R = 5K \Rightarrow C = 32.5 \text{ nF}$$

En el filtro pasa bajos la frecuencia de corte necesitada será:

$$f_c = 2.8 / \log^{-1}(29.54/40) \quad f_c = 511.27 \text{ Hz}$$

Con los valores de $m_1 = 0.4978$ $q_1 = 1.8219$ obtenidos de la tabla T13 para un filtro de 2do orden, asumiendo:

$$m_1 * C_o = 1 \text{ nF} \Rightarrow q_1 * C_o = 3.6 \text{ nF} ; C_o = 2 \text{ nF} \quad \text{tenemos que}$$

$$R_o = 1 / (6.28 * C_o * f_c) \quad R_o = 155.72 \text{ K}\Omega$$

Luego de haberse realizado las pruebas en el laboratorio los elementos que cumplieron con los requerimientos deseados son los mostrados en el gráfico que se presenta a continuación.

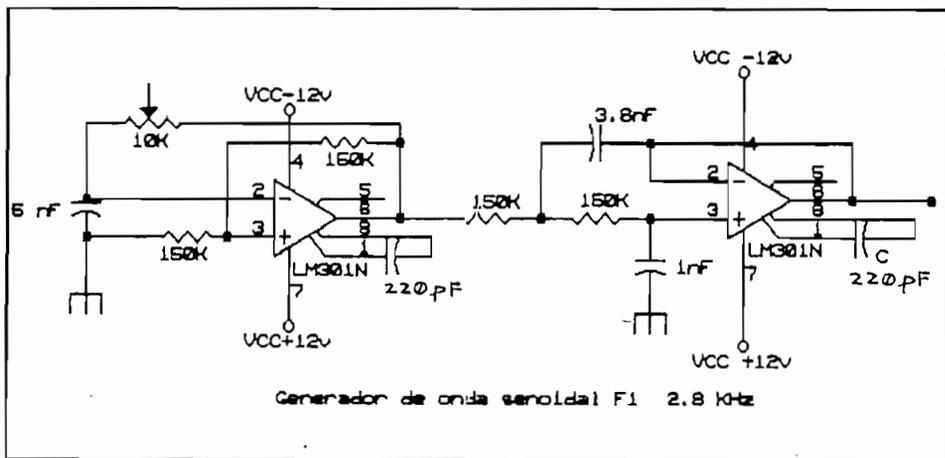


Fig. 3.16

Oscilador a 6.07 KHz.-

Para el a estable que nos dará la frecuencia fundamental utilizaremos un potenciómetro de 10 KΩ para la calibración de la frecuencia deseada, pero para el cálculo del condensador C supondremos que R=5 KΩ por lo que utilizando la ecuación 01 tenemos:

$$C = 1/2fR * \ln 3 \text{ para } f = 6.07 \text{ KHz } \quad R = 5K\Omega \Rightarrow C = 14,99 \text{ nF}$$

En el filtro pasa bajos la frecuencia de corte necesitada será:

$$f_c = 6.07 / \log^{-1}(29.54/40) \quad f_c = 1108.38 \text{ Hz}$$

Con los valores de $m_1 = 0.4978$ $q_1 = 1.8219$ obtenidos de la tabla T13 para un filtro de 2do orden, asumiendo:

$$m_1 * C_o = 1nF \Rightarrow q_1 * C_o = 3.6nF; C_o = 2nF \text{ tenemos que } R_o = 71.83 \text{ K}\Omega$$

Luego de haberse realizado las pruebas en el laboratorio los elementos que cumplieron con los requerimientos deseados son los mostrados en el gráfico que se presenta a continuación.

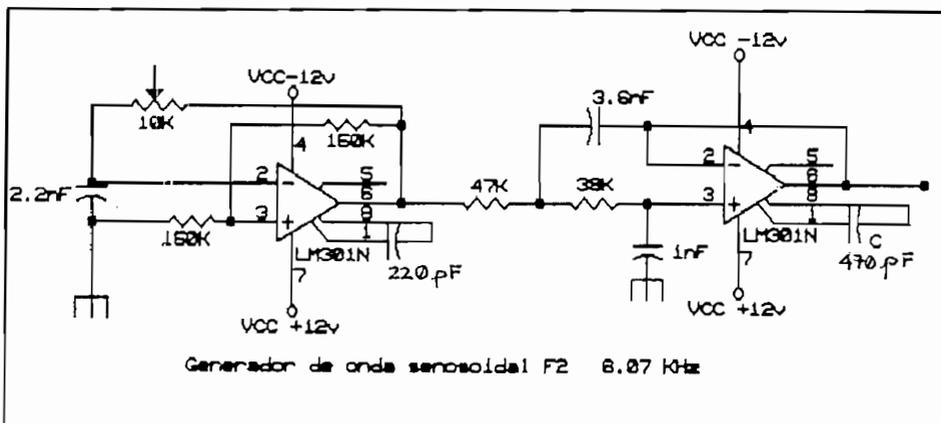


Fig. 3.17

3.1.4.-Amplificadores y sumadores.-

Los circuitos utilizados en el diseño de esta parte se basan en la aplicación del LM 301 como amplificador de ganancia negativa como se puede ver en el siguiente gráfico.

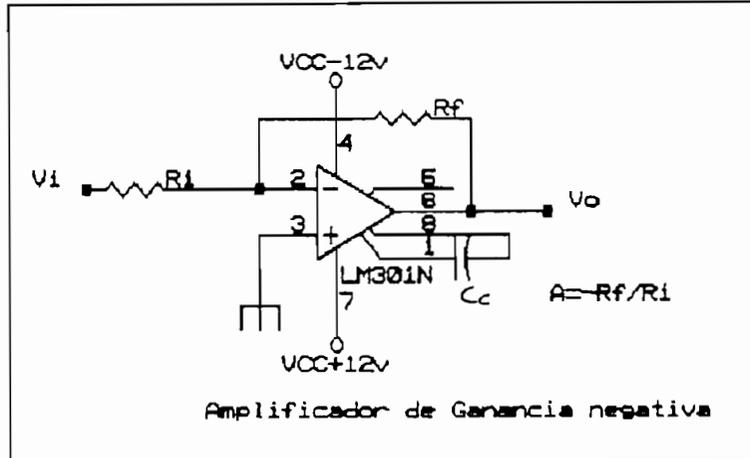


Fig. 3.18

Todas las señales sean para grabación o reproducción pasan por dos etapas de amplificación con ganancia negativa por lo que no sufren cambios de polaridades con respecto a la señal original.

Para el diseño de los distintos amplificadores lo más importante es determinar la ganancia en base a los voltajes óptimos con que se relacionan los distintos bloques de este sistema.

En grabación se ha escogido como referencia el voltaje de salida de los moduladores para todas las señales que ingresen al sumador de grabación y evitar múltiples amplificaciones que distorsionarían la información de los canales.

A continuación presentamos el diseño particular para cada uno de los amplificadores y sumadores:

Amplificador de entrada canal 1.-

Este amplificador tiene como restricciones las siguientes:

- Voltaje de entrada externa medio (V_{inx}) = 0.3 v pp*
- V_o = Voltaje de salida (mod/dem) = 0.6 v pp*

En este caso su ganancia será: $A = V_o / V_{inx} = 0.6 / 0.3 = 2$

La amplificación en el circuito a ser utilizado es:

$$A = -R_f / R_1 \quad \text{Ec. 3.15}$$

Si asumimos $R_f = 39 \text{ K}\Omega$ entonces $R_1 = 18 \text{ K}\Omega$

EL gráfico de este amplificador puede observarse a continuación.

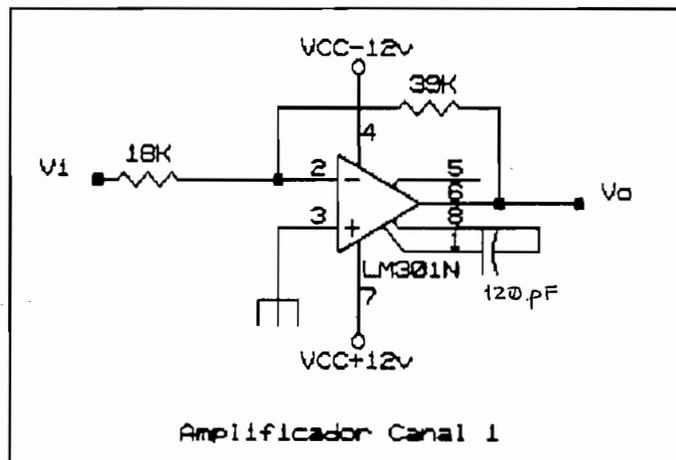


Fig. 3.19

Amplificador canal 2 y 3 .-

De estos amplificadores depende el voltaje de entrada a modulación el cuál en su valor óptimo es 1v pp, este relacionandole con $V_{in}=0.3$ v nos da una ganancia:

$A = 1/0.4 = 3.3$, asumiendo $R_f=27\text{ K}\Omega$ tenemos $R_1=6.8\text{ K}\Omega$

El circuito implementado para estos amplificadores se presenta en el siguiente gráfico.

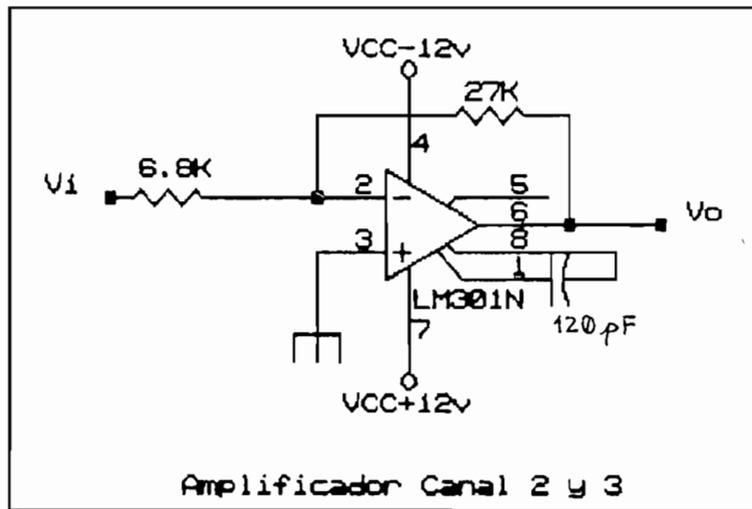


Fig. 3.20

Amplificador para la cabeza de reproducción.-

Este amplificador está sujeto a las siguientes restricciones:

Voltaje entregado por la cabeza de reproducción=5 mV pp

En reproducción V_o =Voltaje de entrada modulante=1.0 v pp,
por lo tanto $A_r = 1/0.005 = 200$

Asumiendo $R_f=220\text{ K}\Omega$ tenemos: $R_{i1}=1.2\text{ K}\Omega$

El gráfico de este amplificador se muestra a continuación.

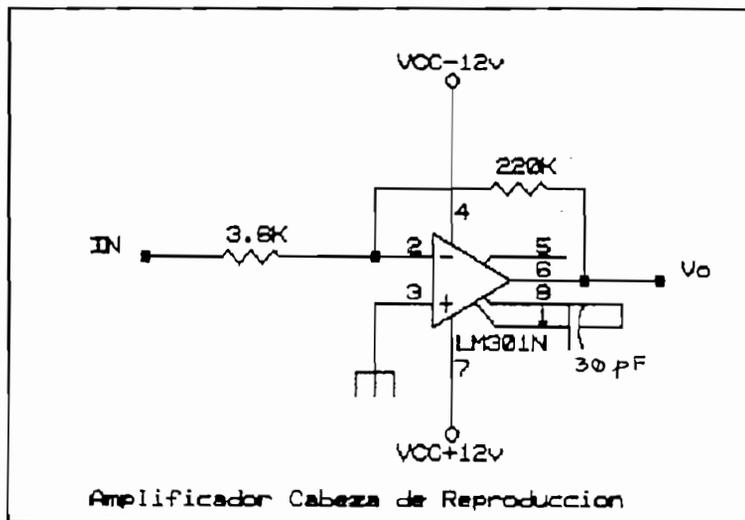


Fig. 3.21

Mezclador para reproducción.-

Este amplificador se encarga de tomar las señales seleccionadas provenientes de los demoduladores o del amplificador de la cabeza de reproducción y adecuarlas para que ingresen a los circuitos finales de reproducción.

Las señales tomadas vienen con una amplitud que es igual al voltaje de salida de los demoduladores en reproducción esto es 80 mv pp para el canal 2, 25 mvpp para el canal 3, y para el canal 1 esta señal tiene una amplitud (1.0 v pp) igual al voltaje de entrada a los demoduladores de la señal modulante.

Como el voltaje de entrada a reproducción es 40 mv pp

Para el canal 2 la amplificación necesitada será:

$$A=40/80=0.5$$

Asumiendo $R_f=3.6\text{ K}\Omega$ entonces $R_2=6.8\text{ K}\Omega$

Para el canal 3 la amplificación necesitada será:

$$A=40/25=1.6$$

Conociendo $R_f=3.6\text{ K}\Omega$ entonces $R_2=1.5\text{ K}\Omega$

Para el canal 1: $A_1=0.04 / 1.0= 0.04 \Rightarrow R_1=R_f/A_1=82\text{ K}\Omega$

El circuito implementado puede verse en la figura 3.22.

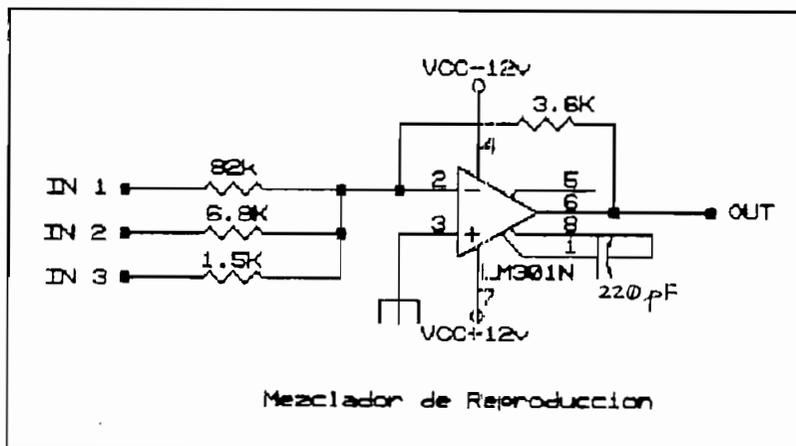


Fig. 3.22

Sumador para grabación.-

Este amplificador se encarga de tomar las señales a ser grabadas provenientes de los filtros respectivos y adecuarlas para que ingresen a los circuitos de grabación.

Estas señales a ser sumadas vienen con similar amplitud semejante al voltaje de salida de los moduladores (0.4vpp) para el canal 3, (0.6v pp) para los canales 1 y 2

Como el voltaje de entrada a grabación adecuado realizando una compensación debido a la respuesta de frecuencia cabeza-cinta magnética para los tres canales son:

Canal 1=0.6 v pp, Canal 2=0.8 v pp y Canal 3=1.0 v pp

La amplificación necesitada será:

$$A_1=0.6/0.6=1.0 \quad A_2=0.8/0.6=1.33 \quad A_3=1.0/0.4=2.5$$

Asumiendo $R_f=10 \text{ K}\Omega$ entonces :

$$R_1=10 \text{ K}\Omega \quad R_2=6.8 \text{ K}\Omega \quad R_3=3.6 \text{ K}\Omega$$

El Gráfico del circuito implementado puede verse a continuación.

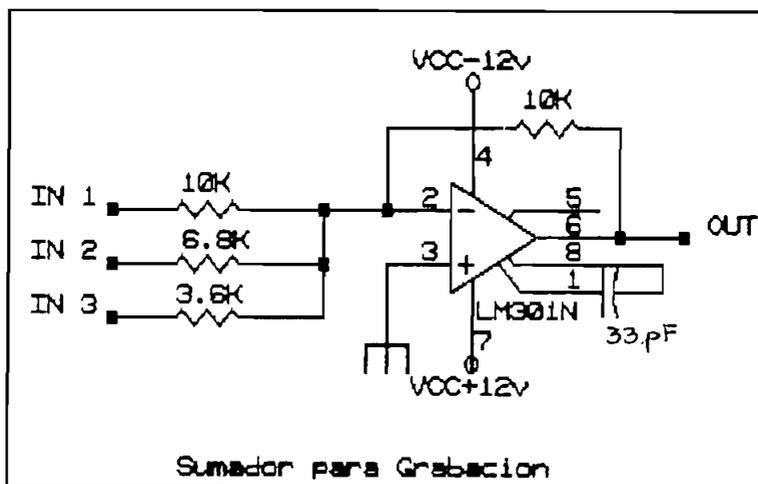


Fig. 3.23

3.1.5.- Sistema de Control.-

Es el encargado de intercomunicar a los distintos bloques que constituyen el sistema para lo cual este se a subdividido en 4 partes:

- Control canal 1 .-

Realiza las siguientes conexiones.

En grabación: coloca a la de entrada del filtro pasa bajos 1 la salida del amplificador de entrada del canal 1, y pone a tierra la entrada 1 del mezclador de reproducción.

En reproducción: une la salida del amplificador de la cabeza de reproducción a la entrada del filtro pasa bajos 1 y la salida de este a la entrada 1 del mezclador de reproducción.

Esto puede realizarse con 2 selectores de vías 2/1 controlados por un mismo dato (reproducción canal 1 R1 y grabación canal 1 G1) como se ve en el siguiente gráfico.

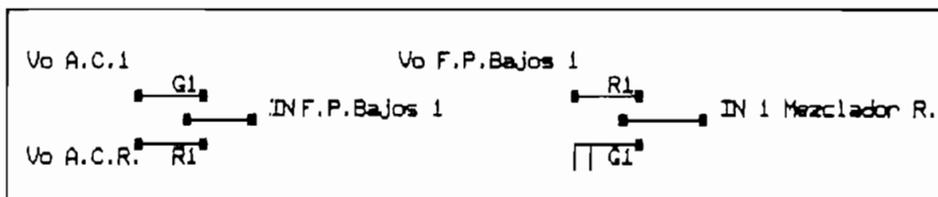


Fig. 3.24

- Control canal 2.-

Realiza las siguientes conexiones.

En grabación: coloca a la de entrada del modulador F1 la salida del filtro pasa bajos 2, pone a tierra la entrada 2 del mezclador de reproducción, y une la salida del modulador F1 con la entrada del filtro pasa banda.

En reproducción: une la salida del amplificador de la cabeza de reproducción a la entrada del filtro pasa banda y a la salida de este a la entrada del demodulador F1, y la salida de este a la entrada 2 del mezclador de reproducción.

Esto puede realizarse con 3 selectores de vías 2/1 controlados por un mismo dato (reproducción canal 2 R2 y grabación canal 2 G2) como se ve en el siguiente gráfico.

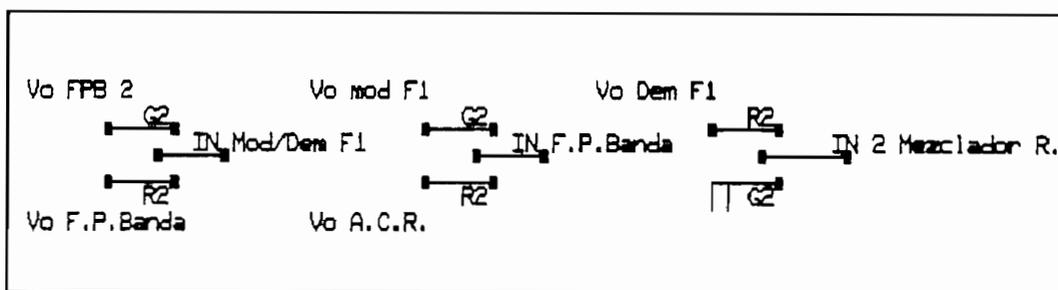


Fig. 3.25

- Control canal 3.-

Realiza las siguientes conexiones.

En grabación: coloca a la de entrada del modulador F2 la salida del filtro pasa bajos 3, pone a tierra la entrada 3 del mezclador de reproducción, y une la salida del modulador F2 con la entrada del filtro pasa altos.

En reproducción: une la salida del amplificador de la cabeza de reproducción a la entrada del filtro pasa altos y a la salida de este a la entrada del demodulador F2, y la salida de este a la entrada 3 del mezclador de reproducción.

Esto puede realizarse con 3 selectores de vías 2/1 controlados por un mismo dato (reproducción canal 3 R3 y grabación canal 3 G3) como se ve en el siguiente gráfico.

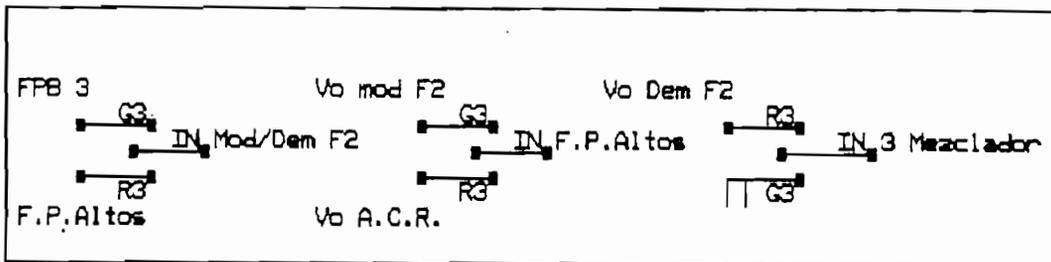


Fig. 3.36

- Control G/R general.-

Determina el funcionamiento de los módulos de grabación o reproducción en el magnetófono modificado.

Realiza las siguientes conexiones.

En grabación une la salida del sumador de grabación a la entrada de grabación en el magnetófono y permite el paso directo de la señal proveniente de la cabeza magnética a los circuitos de reproducción en el magnetófono.

En reproducción une la señal proveniente de la cabeza magnética a la entrada del amplificador de la cabeza de reproducción y la salida del mezclador de reproducción a la entrada de los circuitos de reproducción en el magnetófono.

Esto puede realizarse con 3 selectores de vías 2/1 controlados por un mismo dato (reproducción R y grabación G) como se ve en el siguiente gráfico.

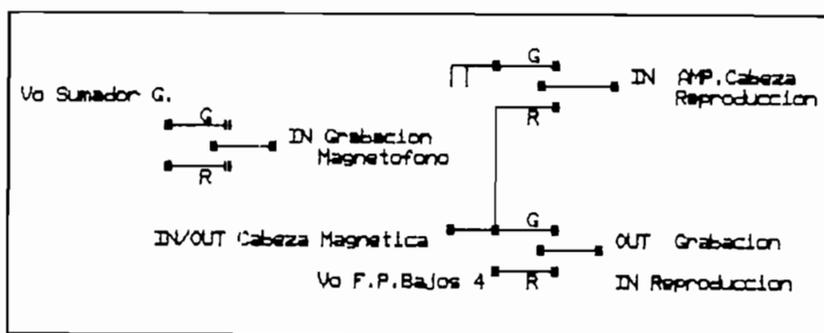


Fig. 3.27

3.1.6.- Fuente de alimentación.-

Para el funcionamiento de todos los bloques del sistema de grabación necesitamos una fuente de energía de dos polaridades +12 v y -12 v de voltaje continuo.

En lo relacionado con la corriente que deberá suministrar esta en el orden de 100 mA tanto para la polaridad positiva como para la polaridad negativa.

Para el diseño de esta fuente de 2 polaridades hemos partido de la utilización de un transformador de toma central en el secundario, el cuál debe tener una relación de transformación en el rango de 110/10-30 v entre un terminal y el punto central y estar en capacidad de suministrar una corriente mayor a 500 mA sin caída de tensión en el secundario.

Este transformador luego de pasar por un puente de diodos para rectificación de onda completa se obtienen las dos polaridades con relación al punto central del transformador (tierra del sistema) como se puede observar en la figura.

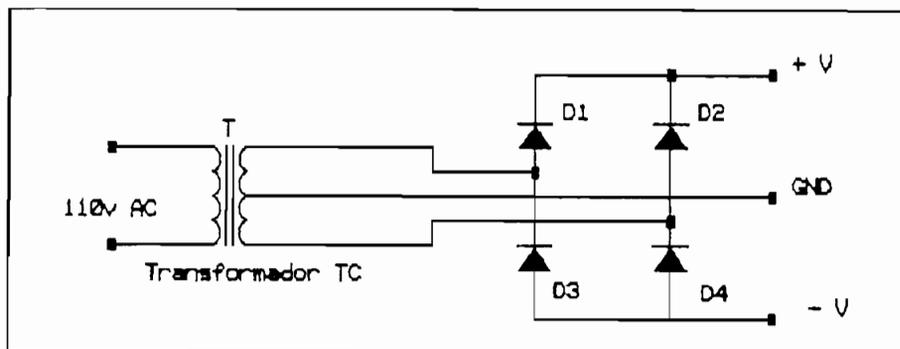


Fig. 3.28

A continuación colocamos condensadores del voltaje adecuado y alta capacidad para eliminar el rizado de 60 Hz de la línea, los rectificadores de voltaje de precisión positivo (LM 7812) y negativo (LM 7912) los que están en capacidad de suministrar la corriente deseada.

Entre la salida de los rectificadores y tierra se deben colocar condensadores $> 10 \mu\text{F}$., para eliminar el rizado de alta frecuencia que producen estos y pueden causar interferencia en los bloques de modulación de nuestro sistema.

El siguiente gráfico (Fig. 3.29) muestra el circuito implementado para la fuente de alimentación.

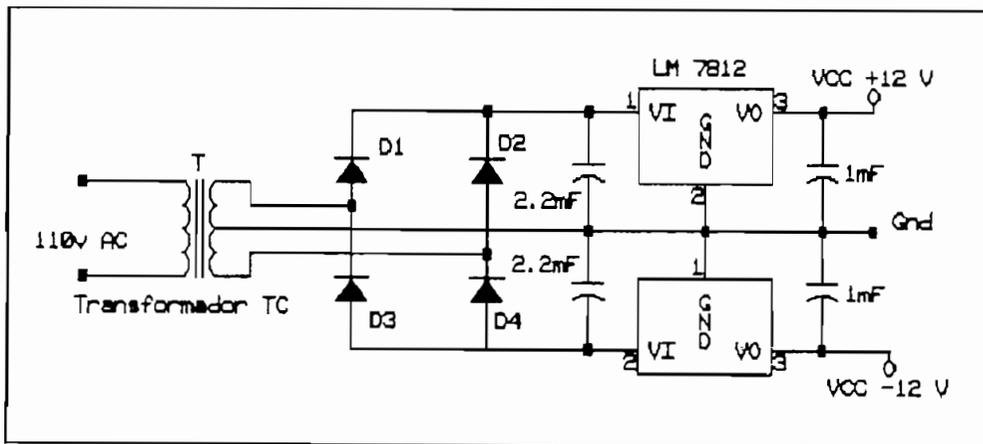
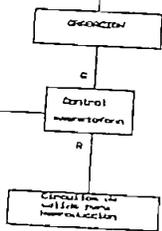
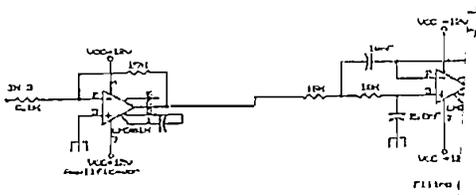
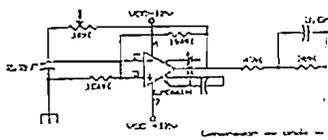
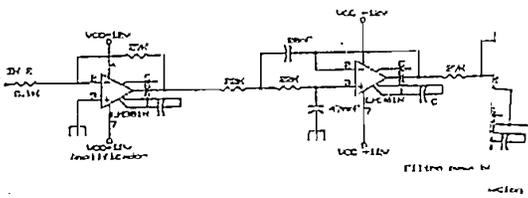
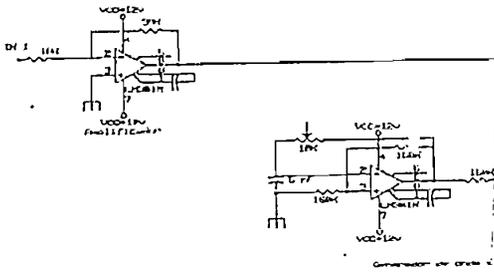


Fig. 3.29

3.2. - RFA ELECTRONICS TOTAL DC. REVISION 03/04/00



3.4.-Comprobación y toma de resultados del funcionamiento parcial y total del sistema.-

Los resultados que se presentan en tablas y gráficos corresponden a las características de respuesta de frecuencia de los filtros implementados en este sistema, así como también las características de voltaje en los moduladores y las relacionadas al consumo de potencia del sistema total construido.

El procedimiento seguido para obtener estas características se basa principalmente en la utilización de los siguientes instrumentos :

Un generador de onda senoidal de frecuencia variable el cual es empleado como señal de entrada para todos los canales de grabación y también reemplazando a la señal proveniente de la cabeza de reproducción, lo que nos permite tener el barrido de frecuencia deseado para la comprobación de los filtros.

Para medir los resultados en los puntos deseados del circuito se utilizó un osciloscopio con el cual a más de medir con precisión los voltajes se puede observar la forma de onda lo que permite determinar si existe o no distorsión en las salidas con respecto a las señales de entrada.

Los datos tomados para la obtención de las características de respuesta de frecuencia de los filtros se presentan a continuación:

Filtro pasa bajo de 4to orden.-

Los valores tomados y calculados para una misma amplitud de la señal de entrada se presentan en el siguiente cuadro.

$$V_{in} = 800 \text{ mV pp}$$

Frecuencia [KHz]	V _{on} [mV]	Atenuación [dB]
0.5	800	0
1.0	620	2.21
1.2	540	3.41
1.5	420	5.59
1.8	420	5.59
2.0	400	6.02
2.3	330	7.69
2.5	140	15.13
2.8	80	20.00
3.0	60	22.49
3.5	30	28.51
4.0	16	33.97
5.0	4	46.02
6.0	-	>>

La respuesta de frecuencia de este filtro puede observarse de mejor forma en el siguiente gráfico.

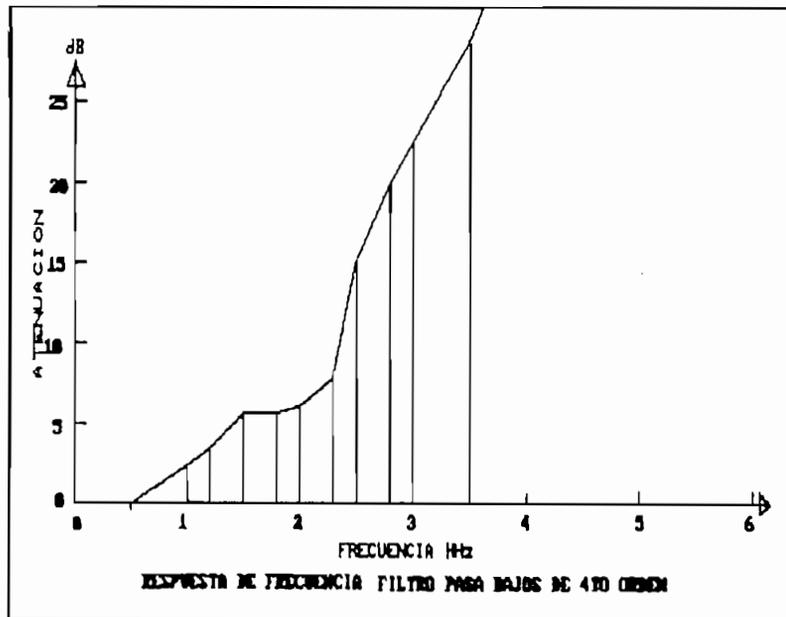


Fig. 3.30

Filtro pasa bajo de 2do orden.-

Los valores tomados y calculados para una misma amplitud de la señal de entrada se presentan en el siguiente cuadro.

$$V_{in} = 800 \text{ mV}$$

Frecuencia [KHz]	Von [mV]	Atenuación [dB]
0.5	800	0
1.0	900	-1.02
1.5	840	-0.42
2.0	680	1.41
2.3	540	3.41
2.5	480	4.43
3.0	340	7.43
3.5	240	10.45
4.0	200	12.04
5.0	130	15.78
6.0	80	20.00

La respuesta de frecuencia de este filtro puede observarse de mejor forma en el siguiente gráfico.

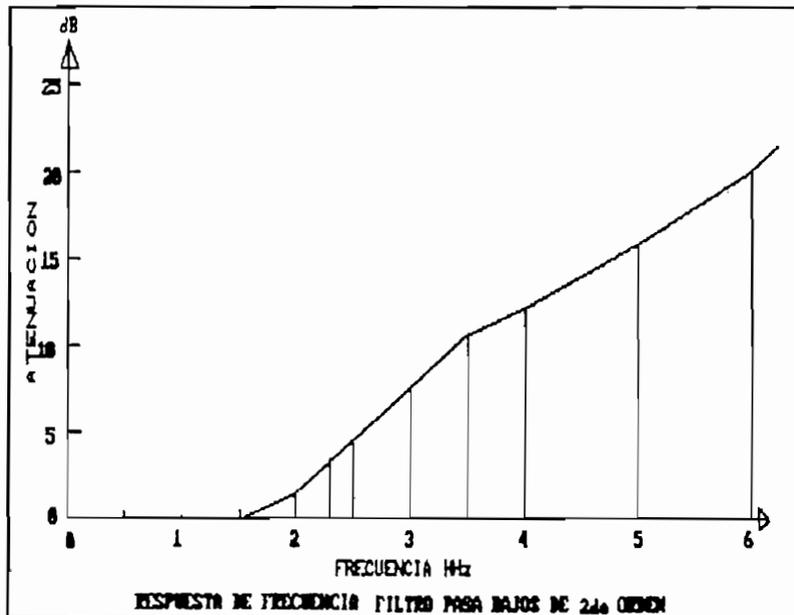


Fig. 3.31

Filtro pasa alto de 4to orden.-

Los valores tomados y calculados para una misma amplitud de la señal de entrada se presentan en el siguiente cuadro.

$V_{in} = 800 \text{ mV}$

Frecuencia [KHz]	V_{on} [mV]	Atenuación [dB]
0.5	-	>>
1.0	-	>>
2.0	-	>>
3.0	30	28.51
4.0	80	20.00
4.5	160	13.97
5.0	300	8.51
5.5	440	5.19
6.0	760	0.44
6.5	820	-0.21

La respuesta de frecuencia de este filtro puede observarse de mejor forma en el siguiente gráfico.

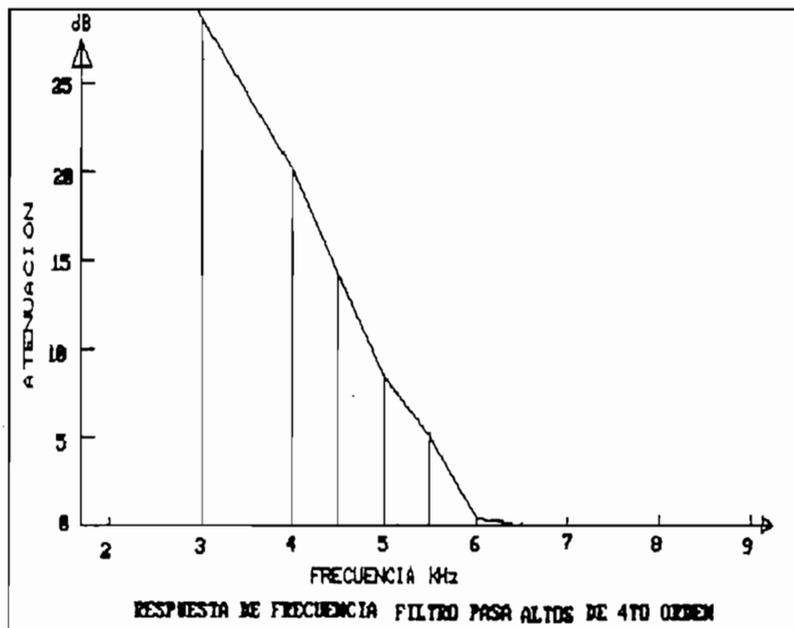


Fig. 3.32

Filtro pasa banda de 4to orden.-

Los valores tomados y calculados para una misma amplitud de la señal de entrada se presentan en el siguiente cuadro.

$$V_{in} = 800 \text{ mV}$$

Frecuencia [KHz]	V _{on} [mV]	Atenuación [dB]
0.5	-	>>
1.0	10	38.06
2.0	100	18.06
2.5	320	7.95
2.8	580	2.79
3.0	760	0.44
3.3	820	-0.21
3.5	800	0.00
4.5	800	0.00
5.0	760	0.44
5.5	520	3.74
6.0	320	7.95
6.5	200	12.04
7.0	160	13.97

La respuesta de frecuencia de este filtro puede observarse de mejor forma en el siguiente gráfico.

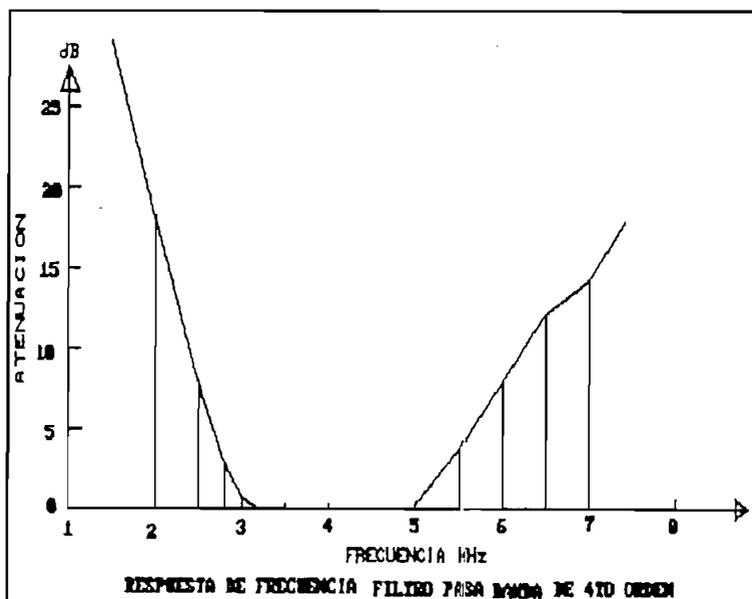


Fig. 3.33

Moduladores.-

Los valores medidos son los siguientes:

F1.-

Portadora: 2.8 KHz 1140 mV

Amplitud modulante: 1000 mV

Salida modulada: 1000 mV

F2.-

Portadora: 6.07 KHz 1160 mV

Amplitud modulante: 1000 mV

Salida modulada: 1000 mV

Estos valores fueron obtenidos utilizando como modulante una señal senoidal de 1 KHz de frecuencia con la amplitud indicada.

Alimentación.-

En lo relacionado con el consumo de potencia del sistema de grabación se tomaron los siguientes resultados presentados a continuación:

Voltajes utilizados: +12 V -12 V

Corrientes consumidas: +60 mA -50 mA

Potencia total consumida: 1.32 W

Grabación - Reproducción de tonos.-

Para las mismas condiciones de la señal de entrada [0.4 v] en los tres canales se realizaron las siguientes pruebas:

- A.- Grabación simultánea en los tres canales*
- B.- Grabación en un solo canal*
- C.- Grabación canal por canal en la misma pista*

El método para obtener los resultados fue medir los voltajes de los diferentes tonos en la reproducción para cada canal en la salida para el parlante manteniendo el volumen constante.

Los resultados medidos en las pruebas A y B fueron los mismos obteniendose los valores indicados en el cuadro mostrado a continuación.

<i>Salida Parlante [v]</i>			
<i>Tono [Hz]</i>	<i>Canal 1</i>	<i>Canal 2</i>	<i>Canal 3</i>
<i>600</i>	<i>1.0</i>	<i>0.96</i>	<i>0.60</i>
<i>1200</i>	<i>0.9</i>	<i>0.90</i>	<i>0.60</i>
<i>1800</i>	<i>0.6</i>	<i>0.60</i>	<i>0.52</i>

Se observo que no existía corrimiento de frecuencia. Para la prueba C grabando en la secuencia de mejor respuesta, esto es primero el canal 1 luego el 2 y finalmente el 3 se obtuvieron los siguientes resultados. Se utilizo como entrada una señal un tono de 0.4 v de 500 Hz

<i>Salida Parlante [v]</i>			
<i>Secuencia</i>	<i>Canal 1</i>	<i>Canal 2</i>	<i>Canal 3</i>
<i>1</i>	<i>1.0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>2</i>	<i>0.68</i>	<i>1.0</i>	<i>-</i>
<i>3</i>	<i>0.46</i>	<i>0.5</i>	<i>0.66</i>

CAPITULO IV

4.1.- Disposición física y utilización del equipo.-

El sistema de grabación construido que permite almacenar la información de tres canales en la misma pista magnética. Físicamente esta conformado por dos módulos generales:

En el primer módulo [1M] se encuentran los circuitos diseñados, los controles para cada canal, las entradas de señales vocales para cada canal.

El segundo módulo [2M] esta formado por el magnetófono modificado con sus controles respectivos.

El gráfico (Fig. 4.1) mostrado a continuación nos da una visión general del equipo construido.

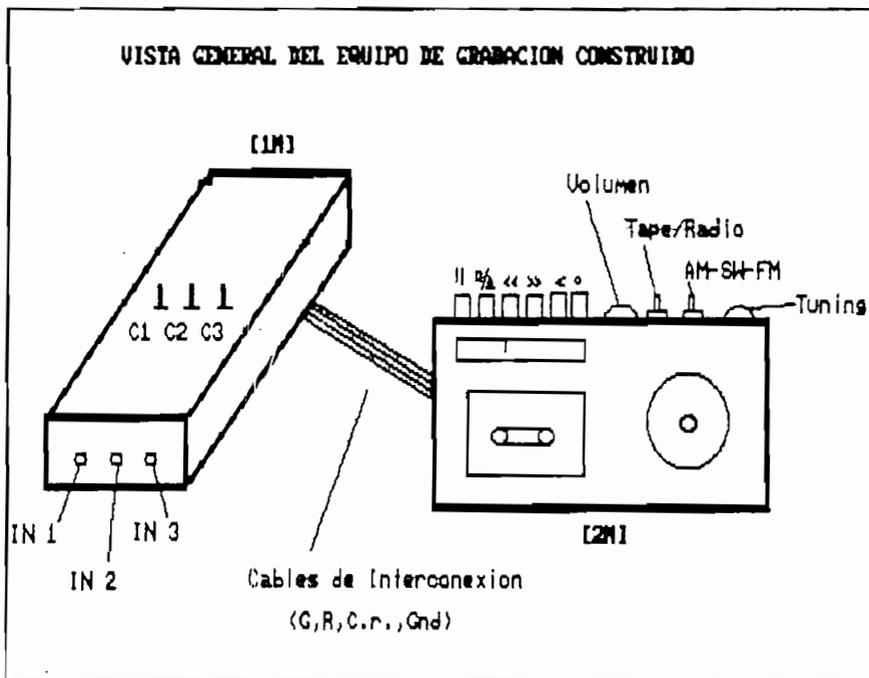


Fig. 4.1

Internamente el [1M] presenta la disposición física mostrada en las figuras 4.2 y 4.3 presentadas a continuación.

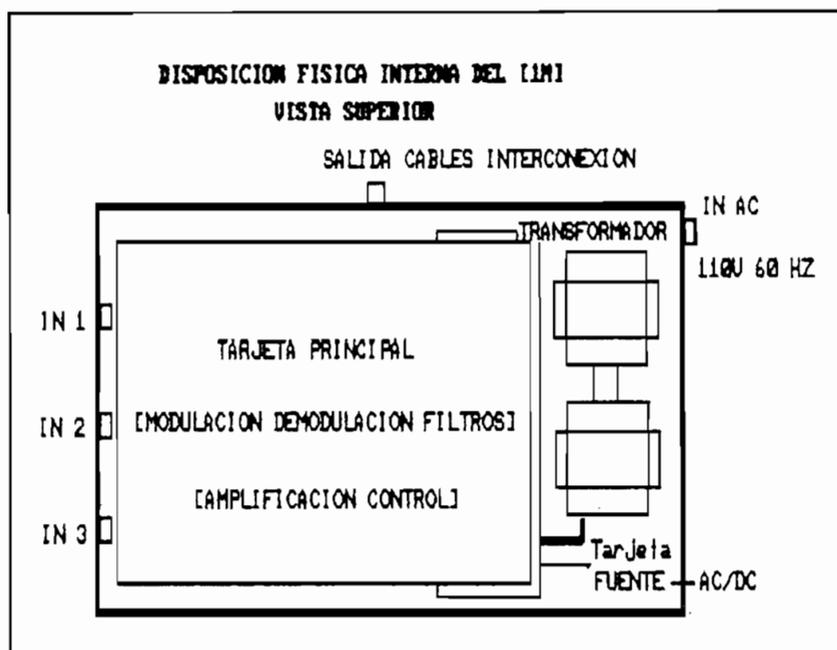


Fig. 4.2

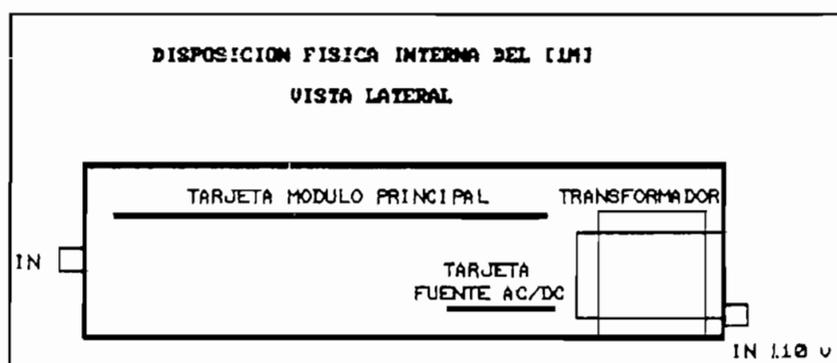


Fig. 4.3

Características generales.-

El [1M] presenta las siguientes características:

- Dimensiones exteriores: 26 cm de largo * 12 cm de ancho * 4.7 cm de espesor*
- Peso : 700 gr. aprox.*
- Consumo eléctrico total : 1.5 W máximo*
- Fuente de alimentación 110 v AC*

El [2M] presenta las siguientes características:

- Dimensiones : 27.5 cm L * 8.5 cm Ancho * 13 cm Alto*
- Peso : 1.1 Kgr.*
- Consumo de energía : 6 W.*
- Potencia de salida Audio : 1 W.*
- Fuente de alimentación 110 v AC ó 6 v DC*

La manera de manejar el equipo es sencilla y muy similar a la operación de los magnetófonos comunes, en el se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- El interruptor del [1M] Tape/Radio debe colocarse siempre en la posición **Tape***
- Los canales activos son aquellos que coinciden la posición de su respectivo interruptor con el modo en que se encuentra el magnetofono **G/R***

4.2.- Aplicaciones.-

Este sistema de grabación construido debido a su característica principal de almacenar la información de 3 canales en una misma pista magnética presenta las siguientes aplicaciones que enumeraremos a continuación:

- Puede ser utilizado para grabar información de señales vocales simultáneamente en sus tres canales de fuentes independientes al sistema.

- Esta en capacidad de reproducir la información almacenada en sus tres canales simultáneamente lo que sirve para mezclar información y lograr varios efectos especiales.

- Puede grabar señales de baja frecuencia (< 100 H) en los canales 2 y 3 gracias al procedimiento de modulación al que se encuentran sometidas la información de estos dos canales.

4.3.- Utilidades.-

Las principales utilidades que este sistema de grabación presenta son:

- Permite que un cassette para magnetófono almacene el triple de información de señales vocales, lo que implica tener más información en un menor espacio físico.

- La información almacenada especialmente para los canales 2 y 3 se encuentra camuflada en forma análoga para los otros sistemas de grabación comunes en el mercado.

- Basandose teóricamente en el diseño de este sistema se puede construir un sistema para grabar simultáneamente 12 canales, lo que permitiría grabar información de datos digitales provenientes de salidas paralelas.

4.4.- Comentarios y conclusiones.-

- La respuesta de frecuencia obtenida en los filtros diseñados tuvo ciertas variaciones con relación a los parámetros teóricos debido a que se emplearon elementos de valores normalizados, variaciones que influyen muy poco en el obtenimiento de la señal deseada.

- El filtraje de las señales a ser grabadas o reproducidas es indispensable para aprovechar lo mejor posible el espectro de frecuencia que puede ser grabado o reproducido así como para obtener que la información de cada canal sea independiente de los demás canales.

- El equipo de grabación construido está calibrado para utilizar como medio de almacenamiento toda clase de cinta magnética, pero es importante tomar en cuenta que la calidad de las señales registradas variarán de acuerdo a las características físicas de la cinta magnética empleada.

- Los mezcladores o sumadores empleados tanto en grabación como en reproducción a más de unir las señales de los diferentes canales tienen como función adicional el de realizar compensaciones de frecuencia en la unión de los espectros correspondientes a cada canal tomando en cuenta la respuesta de frecuencia que presentan la cabeza y cinta magnéticas como base.

- La existencia en pequeña proporción de doble información de baja frecuencia que puede detectarse en reproducción de las señales que han sido moduladas y demoduladas se debe a que las frecuencias menores en 100 Hz a la frecuencia de corte del filtro pasa alto respectivo no son eliminadas totalmente ya que estas se encuentran dentro de la zona transición del filtro.

- Los osciladores responsables de fijar la frecuencia para los circuitos de modulación y demodulación deben ser contruidos con elementos que garanticen valores constantes con el paso del tiempo y con respecto a las variaciones de temperatura ya que cambios en los valores de estos implican aumento o disminición de frecuencia lo que determina la existencia de corrimiento de frecuencia durante la reproducción de señales vocales previamente grabadas.

Para que una información de señal vocal siga siendo entendible se acepta un corrimiento de frecuencia máximo de 50 Hz.

Una forma de evitar el corrimiento de frecuencia es utilizar osciladodres de cristal de frecuencia fija.

- Para mantener la información de señales previamente grabadas utilizamos la superposición de señales aprovechando la característica de remanencia magnética que presentan las cintas, recomendando que cuando se grave canal por canal sigamos el siguiente orden primero el C1, luego el C2 y finalmente el C3 ya que la respuesta de frecuencia cabeza-cinta magnética no es constante.

- Se utilizó modulación con portadora suprimida para obtener un mayor rango para la amplitud de las señales a ser registradas en la zona de saturación y magnetismo remanente existentes en las cintas magnéticas.

- El ancho de banda asignado para cada canal es suficiente para abarcar el espectro de frecuencia producidos por los diferentes tipos de señales vocales

- En general todos los elementos y circuitos utilizados funcionaron de acuerdo a sus características y expectativas que se tenían de ellos.

- En la realización de todo proyecto es de gran importancia para un mejor desarrollo dividirlo a este en diferentes módulos lo más simples e independientes posibles.

- La realización de este sistema me ha permitido relacionarme de una mejor forma con el medio externo en la realización de proyectos de ingeniería.

- Todos los conocimientos obtenidos durante mi formación profesional fueron de gran utilidad para facilitar la realización y construcción de este sistema de grabación.

- Durante el desarrollo de esta tesis he podido palpar la difícil realidad en se encuentra nuestro país para el desarrollo de la ingeniería electrónica debido a la falta de variedad de componentes electrónicos y al elevado costo que presentan los existentes.

- Considero que dentro de la facultad se debería crear un laboratorio exclusivo para el desarrollo de tesis con disponibilidad de acceso durante todo el año.

ANEXOS

N	CIRCUITO	m	q	V _m	F _m	FUNCION DE TRANSMISION
2	1	0.4701	1.4028	1.05	0.707	(0.6595P ² + 0.9402P + 1)
3	1 2	0.2741 1.5962	3.1925	1.78	0.972	(0.8753P ² + 0.5483P + 1) (1.596P + 1)
4	1 2	0.1648 1.1877	5.7027 2.3621	2.98	1.001	(0.9402P ² + 0.3297P + 1) (2.8057P + 2.3759P + 1)
5	1 2 3	0.6148 0.1080 2.7559	3.4115 8.9315	1.30 4.57	0.552 1.005	(2.0974P ² + 1.2296P + 1) (0.9654P ² + 0.2161P + 1) (2.759P + 1)
6	1 2 3	1.8458 0.0759 0.3595	3.4507 12.8782 4.7137	— 6.53 1.88	— 1.005 0.707	(6.3695P ² + 3.6917P + 1) (0.9774P ² + 0.1518P + 1) (1.6948P ² + 0.7191P + 1)
7	1 2 3 4	0.0560 0.9091 0.2359 3.9036	17.5428 4.3327 6.2609	8.85 1.22 2.62	1.004 0.383 0.791	(0.9841P ² + 0.1121P + 1) (3.9388P ² + 1.8182P + 1) (1.4773P ² + 0.4719P + 1) (3.9036P + 1)
8	1 2 3 4	2.4904 0.0431 0.5183 0.1675	4.5601 22.9251 5.3790 8.0502	— 11.54 1.69 3.50	— 1.004 0.538 0.842	(11.3568P ² + 4.9809P + 1) (0.9882P ² + 0.0862P + 1) (2.7882P ² + 1.0367P + 1) (1.3489P ² + 0.3351P + 1)
9	1 2 3 4 5	0.3358 1.1925 0.0341 0.1256 5.0401	6.5794 5.3636 29.0252 10.0803	2.27 1.20 14.58 4.50	0.637 0.294 1.003 0.877	(2.2097P ² + 0.6717P + 1) (6.3962P ² + 2.3850P + 1) (0.9908P ² + 0.0682P + 1) (1.2668P ² + 0.2513P + 1) (5.040P + 1)

Tabla T12. Filtros de paso bajo y de paso alto de Tchebyscheff, de ondulación 0,5 dB. Valores de los elementos y de las magnitudes de ajuste. Los esquemas correspondientes figuran en las tablas 3 y 4.

Tabla T13. Filtros de paso bajo y de paso alto de Tchebyscheff, de ondulación 1 dB. Valores de los elementos y de las magnitudes de ajuste. Los esquemas correspondientes se dan en las tablas 3 y 4.

N	CIRCUITO	m	q	V _m	F _m	FUNCION DE TRANSMISION
2	1	0.4978	1.8219	1.12	0.707	(0.9070P ² + 0.9956P + 1)
3	1 2	0.2485 2.0735	4.0471	2.08	0.933	(1.0058P ² + 0.6970P + 1) (2.023P + 1)
4	1 2	0.1414 2.9685	7.1666 2.9685	3.59 1.01	0.973	(1.0136P ² + 0.2828P + 1) (3.5791P ² + 2.413P + 1)
5	1 2 3	0.5455 0.0905 3.4543	4.2697 11.1783	1.49 5.57	0.565 0.986	(2.3793P ² + 1.0911P + 1) (1.0118P ² + 0.1610P + 1) (3.454P + 1)
6	1 2 3	1.8608 0.0627 5.8864	4.3091 16.0820 5.8864	— 8.01 2.25	— 0.991 0.707	(8.0188P ² + 3.7217P + 1) (1.0093P ² + 0.1255P + 1) (1.7930P ² + 0.6092P + 1)
7	1 2 3 4	0.8030 0.1959 0.0460 4.8682	5.4033 7.8080 21.8775	1.40 3.19 10.91	0.402 0.787 0.994	(4.3393P ² + 1.6061P + 1) (1.5303P ² + 0.3919P + 1) (1.0073P ² + 0.0920P + 1) (4.868P + 1)
8	1 2 3 4	2.5049 0.1377 6.7022 0.0352	5.6818 10.0305 36.1421	— 4.29 2.02	— 0.838 0.544	(14.2326P ² + 5.0098P + 1) (1.3820P ² + 0.2755P + 1) (2.9337P ² + 0.8754P + 1) (1.0058P ² + 0.0704P + 1)
9	1 2 3 4 5	1.0516 0.2783 0.0278 0.1027 6.2762	6.6790 8.1920 36.1421 12.5525	1.37 2.76 18.03 5.54	0.312 0.639 0.996 0.873	(7.0242P ² + 2.1033P + 1) (2.2801P ² + 0.5566P + 1) (1.0047P ² + 0.0536P + 1) (1.2896P ² + 0.2054P + 1) (6.276P + 1)

B	N	CIRCUITO	m	q	V _m	F _m	FUNCION DE TRANSMISION
5%	2	1 1B1S	0.0286 —	32.9965 —	16.87 —	1.034 0.865	(0.9322P ² + 0.0572P + 1) (1.0715P + 0.0813P + 1) / 1.0715P
	3	1 1A1S	0.0393 —	22.9767 —	12.06 —	1.047 0.951	(0.9078P ² + 0.0790P + 1) (1.1015P + 0.0870P + 1) / 1.1015P
7%	3	1 1A1S 2	0.0162 — 0.0444	56.5603 — 29.4731	29.20 — 14.74	1.042 0.958 0.998	(0.9190P ² + 0.0324P + 1) (1.0880P ² + 0.0353P + 1) / 1.0880P ² (1.0000P ² + 0.06578P + 1) / 0.06578P
	4	1 1A1S	0.0352 —	15.7725 —	8.46 —	1.067 0.829	(0.8709P ² + 0.1104P + 1) (1.1432P + 0.1268P + 1) / 1.1432P
10%	3	1 1A1S 2	0.0227 — 0.0444	38.9188 — 20.6311	20.67 — 10.32	1.061 0.940 0.997	(0.8864P ² + 0.0552P + 1) (1.1281P + 0.0313P + 1) / 1.1281P ² (1.0000P ² + 0.0767P + 1) / 0.0767P
	4	1 1A1S	0.0797 —	10.1870 —	5.67 —	1.100 0.894	(0.8175P ² + 0.1525P + 1) (1.2307P + 0.1963P + 1) / 1.2307P
15%	3	1 1A1S 2	0.0339 — 0.0727	25.2334 — 13.7541	19.51 — 6.89	1.073 0.912 0.994	(0.8346P ² + 0.0661P + 1) (1.1761P + 0.0772P + 1) / 1.1761P ² (1.0000P ² + 0.1434P + 1) / 0.1434P
	4	1 1B1S 2 2B1S	0.0461 — 0.0181 —	20.2025 — 46.5674 —	10.47 — 25.33 —	1.033 0.918 1.087 0.963	(0.9325P ² + 0.0923P + 1) (1.1832P + 0.0429P + 1) / 1.1832P ² (0.8451P ² + 0.0362P + 1) (1.0723P ² + 0.0989P + 1) / 1.0723P

Tabla T14. (Ver leyenda página 262).

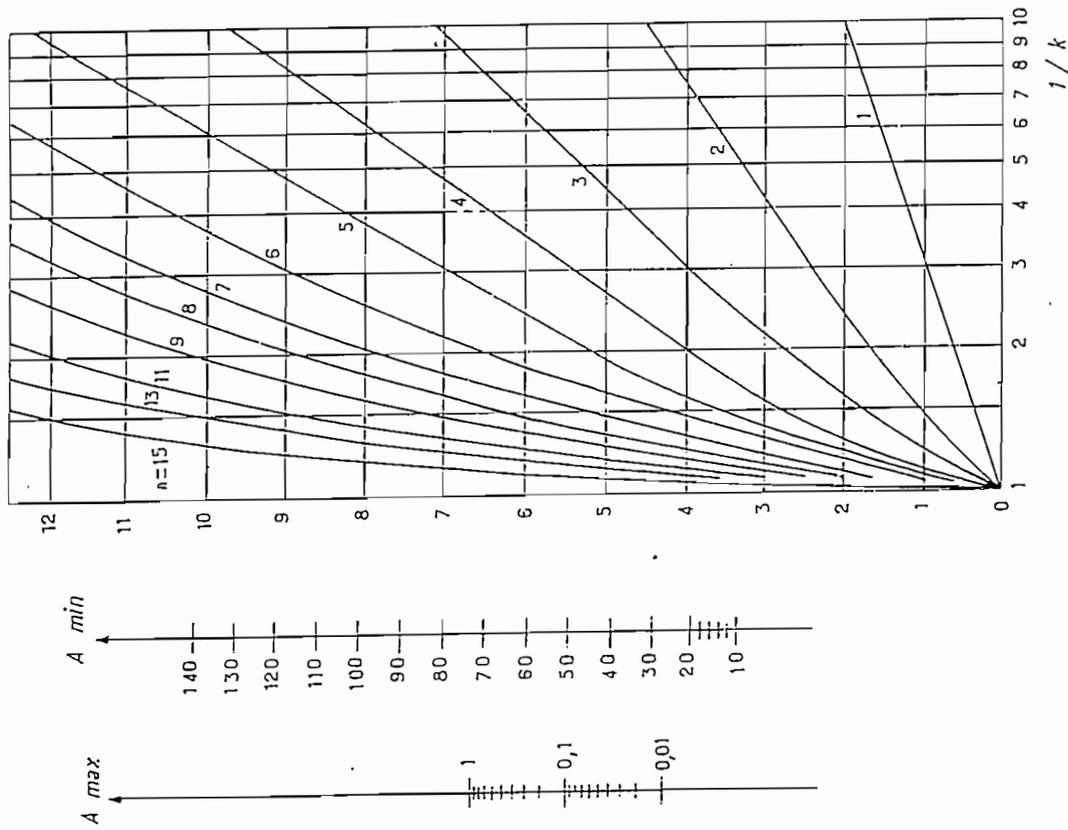


FIG. 11. Abaco que permite determinar el orden n de un filtro de Tchebyscheff cuando se conoce la selectividad k , la ondulación en la banda de paso A_{max} y la atenuación mínima en la banda atenuada A_{min} .

B	N	CIRCUITO	m	q	V _m	F _m	FUNCION DE TRANSMISION
80%	2	1 1A1S	0.2030 	2.7279 	1.91 	1.233 0.691	(0.5601p ² +0.4061p+1) (1.7853p ² +0.7251p+1) / 1.7853p ²
	1	1 1A1S 2	0.0909 0.2461 	5.3985 4.0201 	3.88 2.00 	1.403 0.688 0.936	(0.4907p ² +0.1818p+1) (2.0376p ² +0.3705p+1) / 2.0376p ² (1.0000p ² +0.4962p+1) / 0.4962p
	4	1 1A1S 2A1S	0.1879 0.0597 2A1S 	3.9703 7.9638 	2.35 5.79 	1.101 0.821 1.438 0.684	(0.7461p ² +0.3758p+1) (1.3402p ² +0.4931p+1) / 1.3402p ² (0.4761p ² +0.1195p+1) (2.1003p ² +0.2511p+1) / 2.1003p ²
	5	1 1A1S 2 2A1S 3	0.1192 0.0392 2A1S 0.1872 	5.2293 11.9342 5.3408 	3.34 8.74 2.71 	1.236 0.771 1.455 0.682 0.964	(0.6237p ² +0.2385p+1) (1.6031p ² +0.2526p+1) / 1.6031p ² (0.4548p ² +0.0765p+1) (2.1130p ² +0.1975p+1) / 2.1130p ² (1.0000p ² +0.3744p+1) / 0.3744p
	6	1 1A1S 2 2A1S 3 3A1S	0.1265 0.0901 0.0292 3A1S 	5.1922 6.3675 15.9243 	2.90 4.23 11.66 	1.068 0.879 1.301 0.681 1.462 0.746	(0.8231p ² +0.3170p+1) (1.2149p ² +0.3825p+1) / 1.2149p ² (0.5738p ² +0.1255p+1) (2.1475p ² +0.1255p+1) / 2.1475p ² (0.4656p ² +0.0548p+1) (1.7425p ² +0.3140p+1) / 1.7425p ²
	7	1 1A1S 2 2A1S 3 3A1S 4	0.1158 0.0666 0.0218 0.1526 	6.1147 8.1093 21.2211 6.5427 	3.66 5.53 19.59 3.31 	1.165 0.825 1.349 0.729 1.467 0.680 0.976	(0.7083p ² +0.2316p+1) (1.4116p ² +0.3270p+1) / 1.4116p ² (0.5403p ² +0.1339p+1) (1.8504p ² +0.2466p+1) / 1.8504p ² (0.4635p ² +0.0466p+1) (2.1572p ² +0.3925p+1) / 2.1572p ² (1.0000p ² +0.3058p+1) / 0.3058p
	2	1 1A1S	0.2295 	2.0937 	1.60 	1.274 0.612	(0.4805p ² +0.4590p+1) (2.0810p ² +0.9552p+1) / 2.0810p ²
	3	1 1A1S 2 2A1S 3	0.1009 0.0432 0.2340 	4.0947 9.0647 4.2726 	3.22 7.25 2.19 	1.516 0.628 0.898	(0.4136p ² +0.2019p+1) (2.6186p ² +0.8884p+1) / 2.6186p ² (1.0000p ² +0.8203p+1) / 0.8203p
	4	1 1A1S 2 2A1S	0.2245 0.0661 	3.0751 6.0394 	1.92 4.80 	1.112 0.763 1.565 0.624	(0.6905p ² +0.4491p+1) (1.5461p ² +0.6503p+1) / 1.5461p ² (0.3992p ² +0.1322p+1) (2.5046p ² +0.3311p+1) / 2.5046p ²
	5	1 1A1S 2 2A1S 3	0.1283 0.0432 0.2340 	4.0038 9.0647 4.2726 	2.73 7.25 2.19 	1.296 0.718 1.453 0.623 0.943	(0.4540p ² +0.2767p+1) (1.8049p ² +0.4993p+1) / 1.8049p ² (0.3922p ² +0.0865p+1) (2.5495p ² +0.2206p+1) / 2.5495p ² (1.0000p ² +0.4880p+1) / 0.4880p
	6	1 1A1S 2 2A1S 3 3A1S	0.1926 0.1030 0.0322 0.1910 	4.0612 4.8571 12.0592 4.7223 	2.35 3.46 9.67 2.97 	1.073 0.844 1.383 0.672 1.598 0.692	(0.7824p ² +0.3853p+1) (1.2779p ² +0.4924p+1) / 1.2779p ² (0.5006p ² +0.2061p+1) (2.3697p ² +0.1658p+1) / 2.3697p ² (0.3891p ² +0.0845p+1) (1.9973p ² +0.4117p+1) / 1.9973p ²
	7	1 1A1S 2 2A1S 3 3A1S 4	0.1374 0.0754 0.0240 0.1910 	4.7223 6.1726 16.0900 5.2341 	2.97 4.55 12.94 2.66 	1.204 0.781 1.447 0.673 1.603 0.621 0.962	(0.6492p ² +0.2749p+1) (1.4403p ² +0.3533p+1) / 1.4403p ² (0.4436p ² +0.1208p+1) (2.1476p ² +0.2440p+1) / 2.1476p ² (0.3870p ² +0.0728p+1) (2.5833p ² +0.3283p+1) / 2.5833p ² (1.0000p ² +0.3821p+1) / 0.3821p

TABLE 16. Filtros de paso de banda de Legendre. Valor de los elementos y de las magnitudes de ajuste para diversos anchos de banda relativos a $B = \frac{\Delta fp}{f_0}$. Los esquemas correspondientes están dados en las tablas 3 y 4 (págs. 207 y 214).

EJEMPLOS DE LAS REALIZACIONES UTILIZANDO LAS TABLAS Y LOS ABACOS

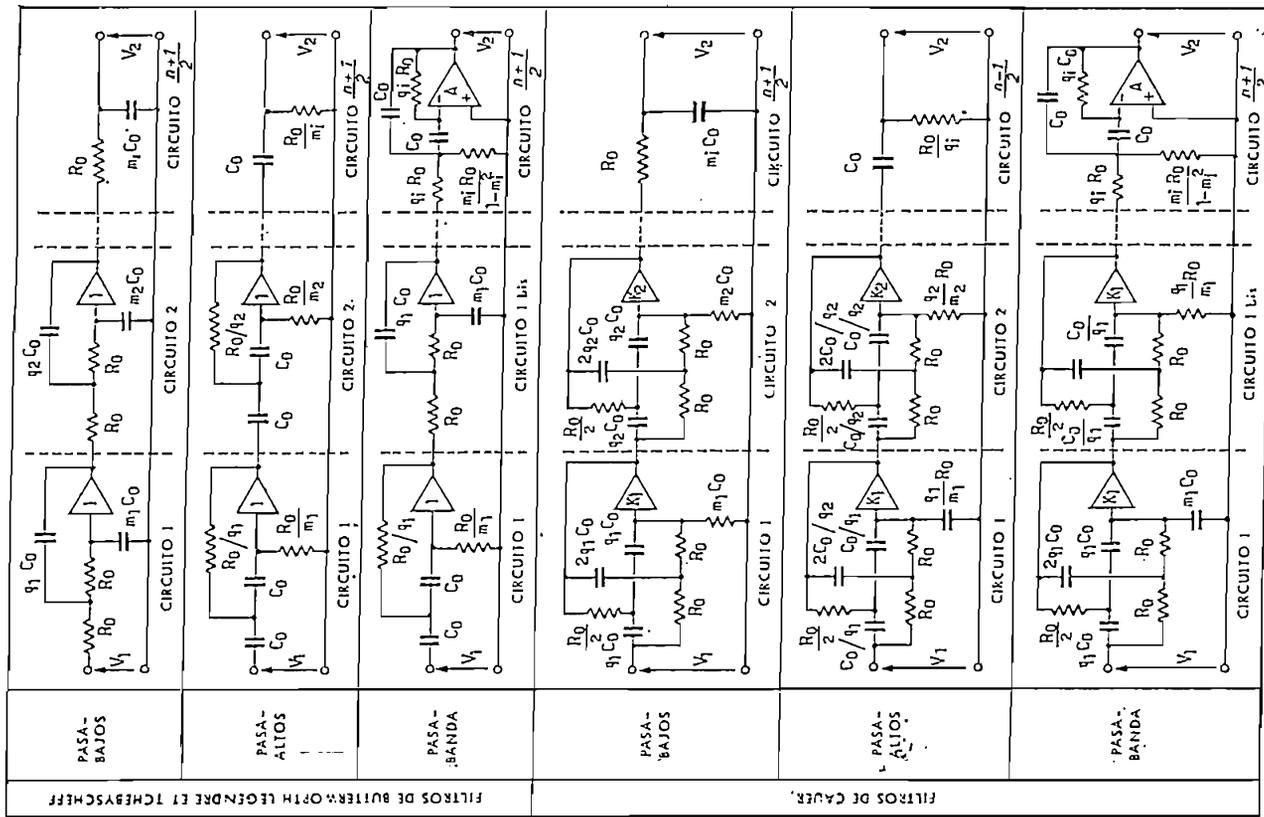


Tabla 4. Los seis esquemas de los filtros cuyos valores de los elementos, figuran en las tablas numéricas. Los esquemas de los amplificadores se dan en la tabla 5.

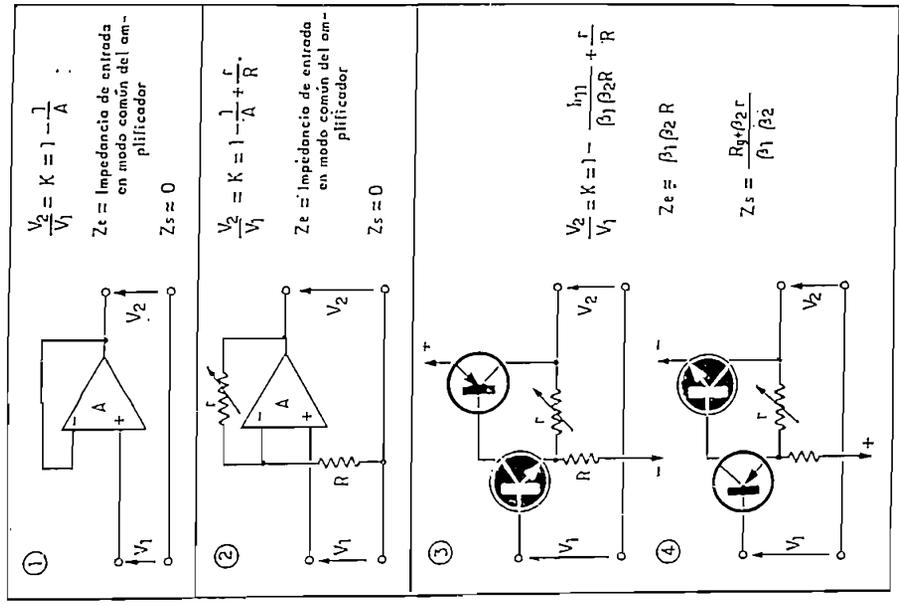


Tabla 5. Los cuatro esquemas de las fuentes controladas de tensión con los que se pueden realizar los filtros activos:

- 1) con amplificador operacional, de ganancia unidad.
- 2) con amplificador operacional, de ganancia > 1.
- 3) y 4) con transistores complementarios, de ganancia > 1.

LM101A/LM201A/LM301A Operational Amplifiers

General Description:

The LM101A series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. Advanced processing techniques make possible an order of magnitude reduction in input currents, and a redesign of the biasing circuitry reduces the temperature drift of input current. Improved specifications include:

- Offset voltage: 3 mV maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Input current: 100 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Offset current: 20 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Guaranteed drift characteristics
- Offsets guaranteed over entire common mode and supply voltage ranges
- Slew rate of 10V/μs as a summing amplifier

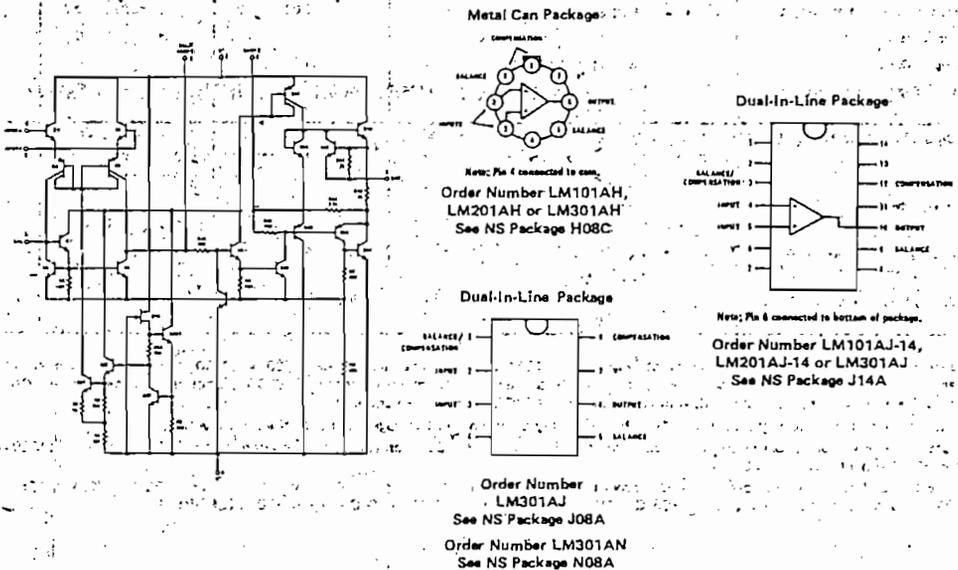
This amplifier offers many features which make its application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, freedom from oscillations and compensation with a single 30 pF

capacitor. It has advantages over internally compensated amplifiers in that the frequency compensation can be tailored to the particular application. For example, in low frequency circuits it can be overcompensated for increased stability margin. Or the compensation can be optimized to give more than a factor of ten improvement in high frequency performance for most applications.

In addition, the device provides better accuracy and lower noise in high impedance circuitry. The low input currents also make it particularly well suited for long interval integrators or timers, sample and hold circuits and low frequency waveform generators. Further, replacing circuits where matched transistor pairs buffer the inputs of conventional IC op amps, it can give lower offset voltage and drift at a lower cost.

The LM101A is guaranteed over a temperature range of -55°C to +125°C, the LM201A from -25°C to +85°C, and the LM301A from 0°C to 70°C.

Schematic ** and Connection Diagrams (Top Views)



**Pin connections shown are for metal can.

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	LM101A/LM201A ±22V	LM301A ±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±20V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	Indefinite
Output Short-Circuit Duration (Note 3)	Indefinite	Indefinite
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C (LM101A)	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-25°C to +85°C (LM201A)	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C

Electrical Characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LM101A/LM201A			LM301A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage LM101A, LM201A, LM301A	$T_A = -25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$	0.7	2.0	7.5	2.0	7.5	mV	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.5	10	50	3.0	50	nA	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	75	250	70	250	nA	
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.5	4.0	0.5	2.0	0.5	M Ω	
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$	1.8	3.0	1.8	3.0	1.8	mA	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	50	160	25	160	50	V/mV	
Input Offset Voltage	$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$ $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	3.0	15	10	30	3.0	mV	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	3.0	15	6.0	30	3.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Current	$T_A = T_{MAX}$ $T_A = T_{MIN}$ $25^\circ\text{C} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq 25^\circ\text{C}$	0.01	0.1	0.01	0.3	0.01	nA	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current		0.02	0.2	0.02	0.6	0.02	nA/ $^\circ\text{C}$	
Input Bias Current		0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	nA	
Supply Current		1.2	2.5	15	15	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = T_{MAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25	20	20	20	25	V/mV	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega$	±12	±14	±12	±14	±12	V	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$	±10	±13	±10	±13	±10	V	
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$ $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	±15	±13	±12	±15	±13	dB	
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	80	96	80	96	80	dB	

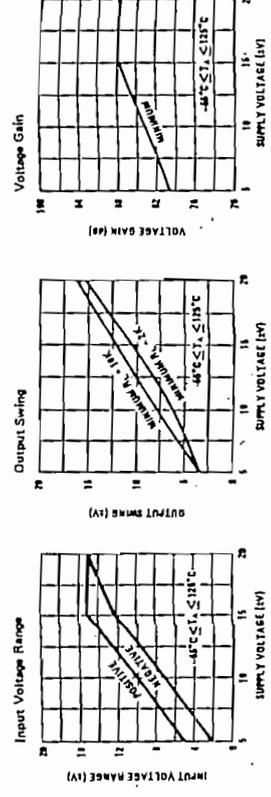
Note 1: The maximum junction temperature of the LM101A is 150°C, and that of the LM201A/LM301A is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 187°C/W, junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

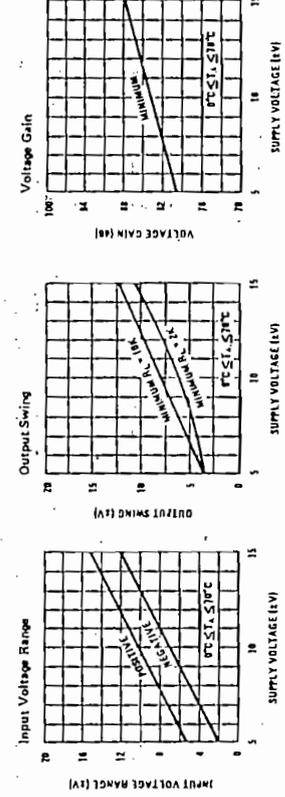
Note 3: Continuous short circuit is allowed for case temperatures to 125°C and ambient temperatures to 75°C for LM101A/LM201A, and 70°C and 55°C respectively for LM301A.

Note 4: Unless otherwise specified, these specifications apply for $C_1 = 30 \text{ pF}$, $\pm 5\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$ and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM101A), $\pm 5\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$ and $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM201A), $\pm 5\text{V} \leq V_S \leq \pm 15\text{V}$ and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ (LM301A).

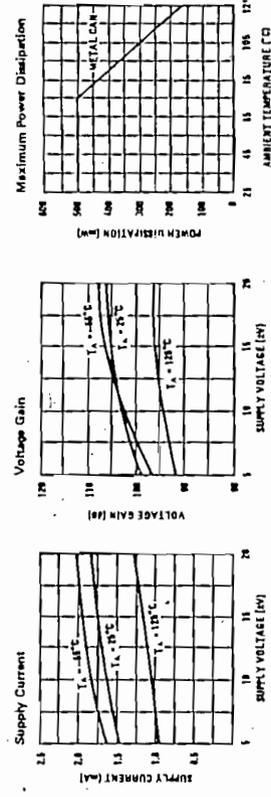
Guaranteed Performance Characteristics LM101A/LM201A



Guaranteed Performance Characteristics LM301A

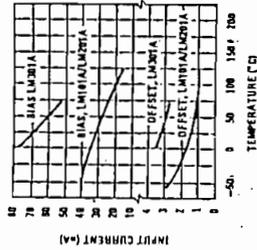


Typical Performance Characteristics

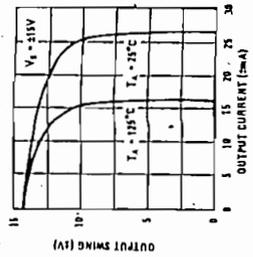


Typical Performance Characteristics (Continued)

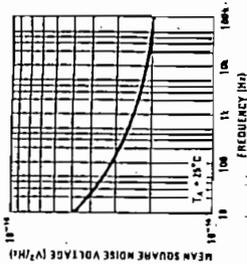
Input Current, LM101A/
LM201A/LM301A



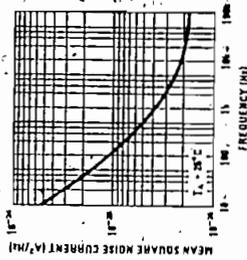
Current Limiting



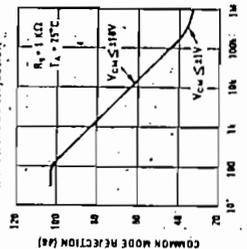
Input Noise Voltage



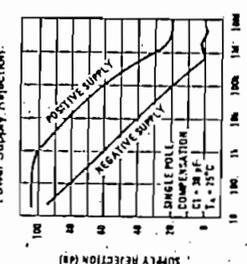
Input Noise Current



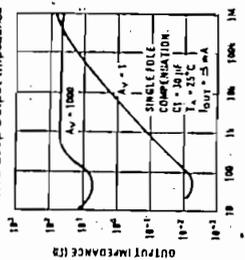
Common Mode Rejection



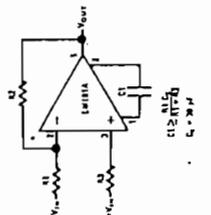
Power Supply Rejection



Closed Loop Output Impedance

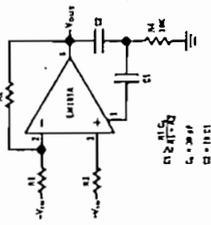


Single Pole Compensation

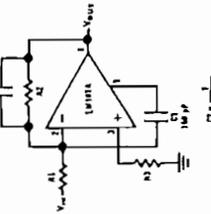


Typical Performance Characteristics for Various Compensation Circuits

Two Pole Compensation

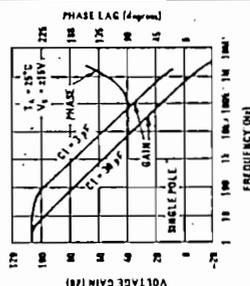


Feedforward Compensation

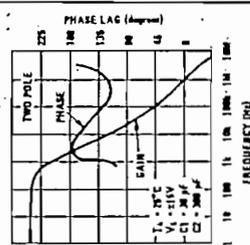


**Pin connections shown are for metal can.

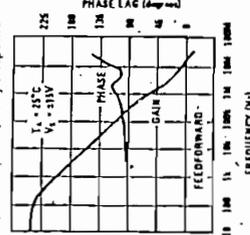
Open Loop Frequency Response



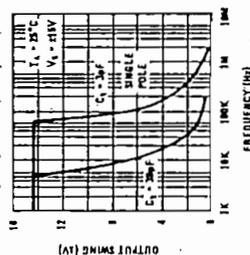
Open Loop Frequency Response



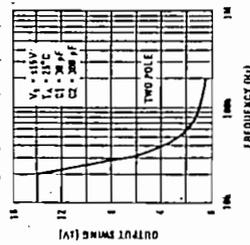
Open Loop Frequency Response



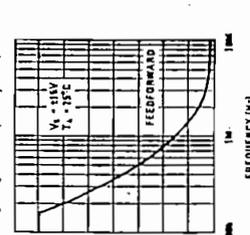
Large Signal Frequency Response



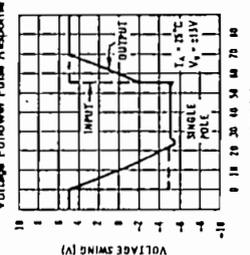
Large Signal Frequency Response



Large Signal Frequency Response



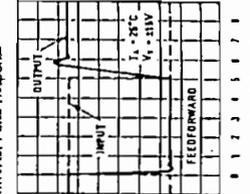
Voltage Follower Pulse Response



Voltage Follower Pulse Response

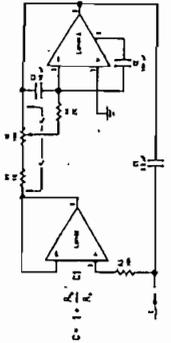


Inverter Pulse Response

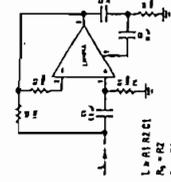


Typical Applications

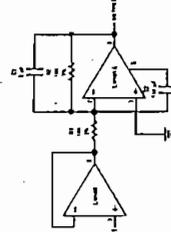
Variable Capacitive Multiplier



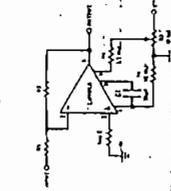
Simulated Inductor



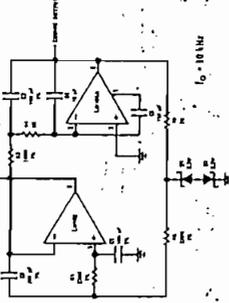
Fast Inverting Amplifier With High Input Impedance



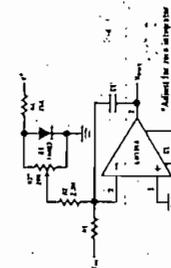
Inverting Amplifier with Balancing Circuit



Sine Wave Oscillator

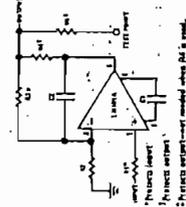


Integrator with Bias Current Compensation

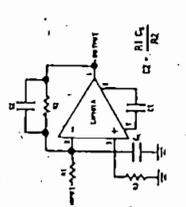


Application Hints

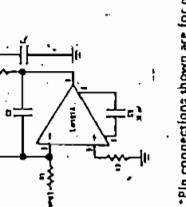
Protecting Against Gross Fault Conditions



Compensating For Stray Input Capacitance Or Large Feedback Resistor



Isolating Large Capacitive Loads



Although the LM101A is designed for trouble free operation, experience has indicated that it is wise to observe certain precautions given below to protect the devices from abnormal operating conditions. It might be pointed out that the advice given here is applicable to practically any IC op amp, although the exact reason why may differ with different devices.

When driving either input from a low-impedance source, a limiting resistor should be placed in series with the input lead to limit the peak instantaneous output current of the source to something less than 100 mA. This is especially important when the inputs go outside a piece of equipment where they could accidentally be connected to high voltage sources. Large capacitors on the input (greater than 0.1 μF) should be treated as a low source impedance and isolated with a resistor. Low impedance sources do not cause a problem unless their output voltage exceeds the supply voltage. However, the supplies go to zero when they are turned off, so the isolation is usually needed.

The output circuitry is protected against damage from shorts to ground. However, when the amplifier output is connected to a test point, it should be isolated by a limiting resistor, as test points frequently get shorted to bad places. Further, when the amplifier drives a load external to the equipment, it is also advisable to use some sort of limiting resistance to preclude mishaps.

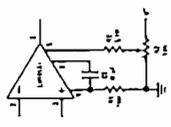
Precautions should be taken to insure that the power supplies for the integrated circuit never become reversed—even under transient conditions. With reverse voltages greater than 1V, the IC will conduct excessive current, fusing internal aluminum interconnects. If there is a possibility of this happening, clamp diodes with a high peak current rating should be installed on the supply lines. Reversal of the voltage between V⁺ and V⁻ will always cause a problem, although reversals with respect to ground may also give difficulties in many circuits.

The minimum values given for the frequency compensation capacitor are stable only for source resistances less than 10 kΩ, stray capacitance on the summing junction less than 5 pF and capacitive loads smaller than 100 pF. If any of these conditions is not met, it becomes necessary to overcompensate the amplifier with a larger compensation capacitor. Alternatively, lead capacitors can be used in the feedback network to negate the effect of stray capacitance and large feedback resistors or an RC network can be added to isolate capacitive loads.

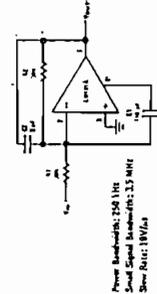
Although the LM101A is relatively unaffected by supply bypassing, this cannot be ignored altogether. Generally it is necessary to bypass the supplies to ground at least once on every circuit card, and more bypass points may be required if more than five amplifiers are used. When feed-forward compensation is employed, however, it is advisable to bypass the supply leads of each amplifier with low inductance capacitors because of the higher frequencies involved.

Typical Applications (Continued)

Standard Compensation and Offset Balancing Circuit

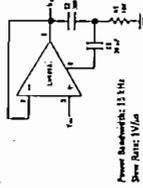


Fast Summing Amplifier



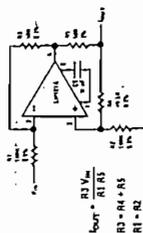
Power Bandwidth: 150 kHz
Small Signal Bandwidth: 3.5 MHz
Slew Rate: 18V/μs

Fast Voltage Follower



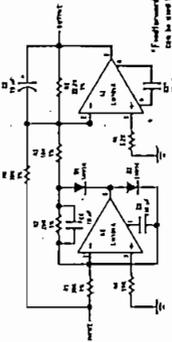
Power Bandwidth: 13 MHz
Slew Rate: 1V/μs

Bilateral Current Source



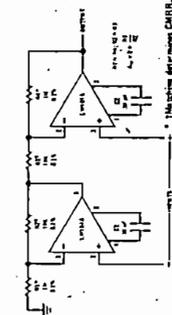
Loop: R3/R1 R3/R2
R3/R4 + R5
R1/R2

Fast AC/DC Converter



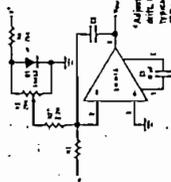
Modified version can be used to make a full-bridge rectifier without a diode.

Instrumentation Amplifier



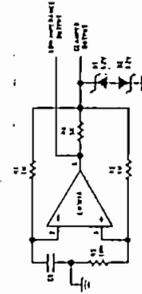
Including differential CMRR.

Integrator with Bias Current Compensation

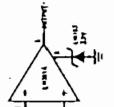


Adjust for bias current with a resistor. Typical 0.1 μA/V°C for PC to 75°C temperature range.

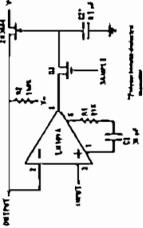
Low Frequency Square Wave Generator



Voltage Comparator for Driving RTL Logic or High Current Driver



Low Drift Sample and Hold



Voltage Comparator for Driving DTL or TTL Integrated Circuits

