



179  
Zejen

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**Facultad de Ingeniería**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CORRECTOR  
AUTOMATICO DE AZIMUT PARA CABEZAS DE  
GRABACION DE AUDIO**

**FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**AGUSTIN SOTO URRUTIA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. JORGE RODRIGUEZ CUEVAS**



**MEXICO, D. F.**

**1995**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Agradezco a todas las personas que colaboraron técnica y moralmente en la elaboración de este trabajo; muy en especial a mi madre, a mi tía Isabel, al Ing. Antonio Salvá Calleja, al Ing. Jorge Rodríguez Cuevas y desde luego a mi alma mater la U.N.A.M.

Agustin Soto Urrutia

# I N D I C E

	Pag.
PREAMBULO	1
CAPITULO 1. INTRODUCCION AL FUNCIONAMIENTO DEL MAGNETOFONO	5
1.1 Breve reseña histórica	6
1.2 Antecedentes de electromagnetismo	8
1.3 Aplicación del electromagnetismo en la máquina de grabación y reproducción de sonido	26
1.4 Polarización de la cabeza por corriente continua	34
1.5 Polarización por corriente alterna	35
1.6 Factores que intervienen en el proceso de grabación y reproducción	39
1.7 Características de las cabezas	47
1.8 Características de las cintas	57
1.9 Diagramas a bloques	62
1.10 Características de los mecanismos de arrastre de la cinta	66
CAPITULO 2. ¿QUE ES EL ERROR DE AZIMUT? Descripción de diferentes alternativas para corregir su desajuste	71
2.1 La técnica empleada por la firma Nakamichi	74
2.2 Aplicación de la técnica empleando una cabeza convencional	84
2.3 Corrección del azimut sensando la pérdida de agudos de la señal	90
CAPITULO 3. SELECCION DE UNA ALTERNATIVA Y DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL PROTOTIPO	95
3.1 Selección de una alternativa	95
3.2 Concepción de la idea básica	97
3.3 Diseño de un módulo de pruebas de azimut	101
3.4 Realización de experimentos con el módulo	108

3.5 Sumario de resultados de los experimentos	132
<b>CAPITULO 4. DESARROLLO DEL DISEÑO</b>	<b>135</b>
4.1 Diseño de la etapa mecánica	135
4.1.1 Condiciones de diseño	135
4.1.2 Definición de bloques fundamentales	137
4.1.3 Armonización Cabeza-Vástago-Caja Reductora	138
4.1.4 Estudio de precisión del mecanismo planteado	142
4.2 Diseño de la etapa analógica	148
4.2.1 Etapa sumadora	148
4.2.2 Filtro pasa altas	151
4.2.3 Etapa promediadora	159
4.3 Diseño de la etapa digital	165
4.3.1 Hardware	166
4.3.1.1 Interfaz RS234	168
4.3.1.2 Reset	169
4.3.1.3 Conexión con la PC para pruebas y programación	170
4.3.2 Elementos de programación	174
4.3.2.1 Conocimientos que requiere el programador	175
4.3.2.2 Mapa de memoria	178
4.3.2.3 Convertidor A/D del HC11	180
4.3.2.4 Una manera de enviar programas al HC11	183
4.3.3 Software para el corrector automático de azimut	184
4.3.3.1 Algoritmo	184
4.3.3.2 Diagrama de flujo	185
4.3.3.3 Programa para el HC11 que realiza la corrección del azimut	191
4.4 Diagrama final y notas complementarias	196
4.4.1 Diagrama final	196
4.4.2 Notas complementarias	204
4.4.2.1 Sensor óptico	204
4.4.2.2 Explicación sobre el movimiento del motor de pasos	205
4.4.2.4 Fuente de poder	206

<b>CAPITULO 5. PRUEBAS Y CONCLUSIONES</b>	<b>207</b>
5.1 Pruebas con diferentes tipos de música	209
5.2 Tiempo de realización del proceso	210
5.3 Prueba del equipo con grabaciones de baja calidad	210
5.4 Notas complementarias y sumario de conclusiones	210
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>213</b>

**DISEÑO Y CONSTRUCCION  
DE UN CORRECTOR AUTOMATICO DE AZIMUT  
PARA CABEZAS DE GRABACION DE AUDIO**

## P R E A M B U L O

Con la creciente revolución electrónica que se vive actualmente, se han desarrollado diferentes y muy variadas máquinas electrónicas.

Uno de los rubros de alta demanda, es el terreno del audio, en el cual existen diversas fuentes de sonido. Por ejemplo, en nuestros días, un sistema mínimo de audio consta de las siguientes partes:

- Un amplificador y sintonizador
- Un reproductor de discos analógicos
- Un sistema reproductor-grabador de cinta magnética
- Un reproductor de discos compactos.

En esta tesis, se pretende concentrar en el reproductor-grabador de cinta magnética.

Si se le pregunta a cualquier persona que se dedique al mantenimiento de reproductores-grabadores de cinta magnética, que cuál es una falla típica de estas máquinas, de entre las que mencione, con toda seguridad se puede afirmar que diría, como falla común, el desajuste de azimut. ¿Cuál es el efecto que provoca tal desajuste? Una pérdida total de "brillantez" en el sonido.

Es muy común el hecho de que cuando ponemos una cinta magnética en un reproductor, el sonido se escuche sin "agudos". A eso es a lo que se le llama pérdida de brillantez. En ese caso por más que incrementemos

el control de tonos agudos, no se logrará obtener una brillantez adecuada, además crecería el nivel de ruido de fondo lo cual no es bueno. Más aún, si comparamos auditivamente ese sonido "pobre" con el del sintonizador de F.M. el contraste resulta evidente. Ahora bien, si corregimos el azimut, veremos que la respuesta del reproductor mejora de una manera extremadamente notoria.

El azimut, en los reproductores, actualmente se ajusta de fábrica, sin embargo, algunas firmas como Nakamichi, han comenzado en los últimos años a introducir una máquina reproductora en la que el azimut sea dinámico, de tal manera que no importe dónde haya sido grabada la cinta magnética y se ajuste en forma automática.

Existen muchísimas máquinas que funcionan con cabezas magnéticas y en todo equipo donde se manejen éstas, existe el concepto de azimut. Tal es el caso de las cintas de video, cabezas lectoras de información digital en discos flexibles en las computadoras, procesos de registro de actividad sísmica, etc.

Se puede decir que resolver el problema de ajuste de azimut para reproductores magnéticos de audio, es de los casos más difíciles, ya que las señales de audio (música y voz) no siguen una regla discriminable por una máquina.

Así pues, si se resuelve dicho caso se puede decir que con ligeras

modificaciones, se tiene concebida la solución para los demás casos de aplicación de las cabezas magnéticas.

De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo optimizar la fidelidad de los reproductores de cinta magnética, mediante el correcto ajuste del azimut, al igual que en un reproductor sofisticado, pero pretendiendo abaratar su costo.

Si bien el presente sistema no pretende ser de tan alta precisión, como en un reproductor de cintas super profesional, si se desea que esté por encima de un reproductor Hi-Fi profesional que no tenga corrector automático de azimut, ofreciendo a los "audiófilos" un recurso más económico para mejorar su sistema de sonido, sin tener que realizar una muy fuerte inversión.

Es importante mencionar que este proyecto no es un accesorio que se pueda instalar en cualquier magnetófono de cintas (deck de cassettes) sino que es un lujo que puede o no tener en el momento de la compra (de la misma manera que se puede adquirir un equipo con o sin sistema dolby para reducción de ruido de fondo), ya que el diseño del mecanismo debe de armonizarse con el corrector automático de azimut.

También es importante destacar que éste será un artículo que sólo sabrá apreciar quien realmente conozca de reproducción magnética, ya que existe mucha gente que se conforma con el sonido que proporciona

su máquina reproductora y no se interesa siquiera por saber si está o no correctamente ajustada.

¿Cómo se pretende lograr el objetivo? en principio lo que se desea es que a un buen magnetófono (o deck de cassette) que se puede adquirir comercialmente, se le conecte a la salida una "Caja Negra" que "escuche" la música, la voz o la señal que está siendo reproducida y ésta a su vez (la caja negra) controle un mecanismo que se le adaptará al sistema de fijación mecánica de la cabeza de tal manera que corrija el azimut sin la intervención de un ser humano. Esa caja negra es lo que se presente diseñar, junto con un modelo mecánico que ilustre su funcionamiento.

A t e n t a m e n t e ,

Agustín Soto Urrutia

## 1. INTRODUCCION AL FUNCIONAMIENTO DEL MAGNETOFONO

Un magnetófono o equipo de grabación y reproducción magnética del sonido, es un sistema que se basa en el principio de la inducción electromagnética, de tal manera que la operación de grabar, se puede asociar con el hecho de inducir un campo magnético a partir de una corriente eléctrica y la operación de reproducir se conceptualiza directamente con la inducción de una fuerza electromotriz (fem) a partir de un campo magnético variable o en movimiento.

En ambos casos se requiere de un medio magnético en el cual se registren o "escriban" las señales de audio. Dicho medio a su vez debe servir también para reproducir o "leer" las señales de audio registradas.

Sin embargo, obviamente, también se necesita con qué "escribir" y "leer" esa información.

Se está hablando de la cinta magnética y de las cabezas de grabación y reproducción. En este capítulo se mencionará la manera en la que se llevan a cabo estos dos procesos y posteriormente, se profundizará en

las características de las cintas magnéticas, de las cabezas y de los circuitos electrónicos empleados en los equipos magnetofónicos.

### **1.1 BREVE RESEÑA HISTORICA**

El magnetismo es conocido por el hombre desde hace 6000 años, pero nunca se ha logrado comprender totalmente este fenómeno.

Inclusive, la palabra magneto tiene un origen difuso. Aunque se encuentra por lo menos en dos manuscritos antiguos, la evidencia no es definitiva.

Lucrecio Caro, poeta romano que vivió en los años 99 a 55 A.C., puede que diese con la explicación correcta. Declara en su manuscrito "De Rerum Natura" que el Imán recibe su nombre de los habitantes de Magnesia, Grecia, a los que se conocía por Magnetos. Magnesia poseía y todavía posee grandes depósitos de mineral de hierro magnético o magnetita, y se dice que a los fragmentos de este mineral se les llamaba magnetos.

Otro erudito romano, Plinio, escribió en el año 50 D.C., la historia de un pastor llamado Magnes contada por el poeta Vicander dos siglos y medio antes.

Según esto, Magnes había descubierto que su báculo de hierro era

atraído por cierta piedra a la que se denominó magnes en su honor.

El principio del registro magnético del sonido fue definido por Oberlin Smith en 1888, solamente veinte años después del fonógrafo. Se imaginó una hebra de algodón que contuviese hierro en forma de polvo, teniendo en su mente la idea de que en tal hilo, o mejor dicho, en los gránulos de hierro, podía introducirse un magnetismo permanente, desplazando el hilo hacia adelante al mismo tiempo.

La primera aplicación práctica de la teoría de Smith fue patentada por el danés Valdemar Poulsen en 1898, después que Tomás Alva Edison hubo inventado el fonógrafo con cilindros de cera. El "Telegráfico de Poulsen" como él lo llamó, era primitivo y, por supuesto, faltaban en él las ventajas de la moderna electrónica. Al mismo tiempo era una demostración perfecta del principio de la conversión de energía eléctrica en campos magnéticos de intensidad variable; el flujo se transmitía a un medio permeable en movimiento, y los campos magnéticos así registrados, se convertían de nuevo, más tarde, en energía eléctrica.

En 1900, la máquina de Poulsen, ganó el premio de la Exposición Mundial de París.

A partir de ese momento y a pesar de ciertas mejoras en su aspecto práctico, el desarrollo fundamental de los registradores magnéticos,

atraído por cierta piedra a la que se denominó magnes en su honor.

El principio del registro magnético del sonido fue definido por Oberlin Smith en 1888, solamente veinte años después del fonógrafo. Se imaginó una hebra de algodón que contuviese hierro en forma de polvo, teniendo en su mente la idea de que en tal hilo, o mejor dicho, en los gránulos de hierro, podía introducirse un magnetismo permanente, desplazando el hilo hacia adelante al mismo tiempo.

La primera aplicación práctica de la teoría de Smith fue patentada por el danés Valdemar Poulsen en 1898, después que Tomás Alva Edison hubo inventado el fonógrafo con cilindros de cera. El "Telegráfico de Poulsen" como él lo llamó, era primitivo y, por supuesto, faltaban en él las ventajas de la moderna electrónica. Al mismo tiempo era una demostración perfecta del principio de la conversión de energía eléctrica en campos magnéticos de intensidad variable; el flujo se transmitía a un medio permeable en movimiento, y los campos magnéticos así registrados, se convertían de nuevo, más tarde, en energía eléctrica.

En 1900, la máquina de Poulsen, ganó el premio de la Exposición Mundial de París.

A partir de ese momento y a pesar de ciertas mejoras en su aspecto práctico, el desarrollo fundamental de los registradores magnéticos,

permaneció virtualmente en un compás de espera hasta que la invención de la válvula electrónica abrió el campo a cambios radicales en su presentación y funcionamiento.

Valdemar Poulsen es prácticamente la piedra angular de los sistemas de grabación y reproducción magnéticos de hoy en día.

## **1.2 ANTECEDENTES DE ELECTROMAGNETISMO**

Antes de proceder al estudio de la grabación y reproducción magnética, es necesario repasar algunos conceptos esenciales relacionados con la naturaleza del electromagnetismo, sin los cuales no se podría comprender el funcionamiento de los equipos de grabación y reproducción magnética.

El magnetismo, explicado de una manera simple, es una propiedad de ciertos materiales que causa la atracción hacia ellos de otros materiales.

En resumen, puede decirse que el origen del magnetismo está en el movimiento de los electrones de los átomos. Esto ya lo vislumbraba André Ampère en 1820. Si aceptamos que una carga eléctrica en movimiento produce un campo magnético, entonces puede explicarse el origen del magnetismo con palabras sencillas, de la siguiente manera:

Los electrones se mueven en órbitas elípticas alrededor de los núcleos de los átomos.

Este movimiento de los electrones constituye una corriente eléctrica en una espira y, por tanto, produce un campo magnético en su interior. Además, existen razones para creer que cada electrón gira alrededor de su eje. Un electrón que gira es una carga en movimiento y, en consecuencia, también origina un campo magnético. En cada átomo hay dos campos magnéticos por cada electrón, uno producido por su movimiento orbital y otro por su rotación.

En la mayoría de los átomos, los campos se anulan entre sí porque están distribuidos al azar. Sin embargo, en materiales ferromagnéticos los campos no se anulan mutuamente por completo.

Cada átomo de hierro tiene cuatro electrones cuyo magnetismo de rotación no se anula. Aunque el movimiento de los electrones en sus órbitas puede explicar parte del magnetismo de las sustancias ferromagnéticas, la rotación parece ser mucho más importante.

El núcleo de cada átomo también gira creando un campo magnético, ya que el núcleo contiene cargas positivas, pero el efecto es suficientemente pequeño para que no se manifieste en una cantidad razonable de materia.

Es tan intenso el campo de cada átomo que, en los materiales magnéticos, la interacción entre átomos adyacentes origina grandes agrupamientos atómicos con sus ejes magnéticos paralelos entre sí. Estos se llaman dominios magnéticos.

Una descripción un poco más profunda del magnetismo, como lo ha definido nuestra ciencia hasta el momento y explicado de una manera sencilla, tiene que ver con la estructura atómica de la materia.

Imaginemos lo que sucede dentro de una barra magnetizada:

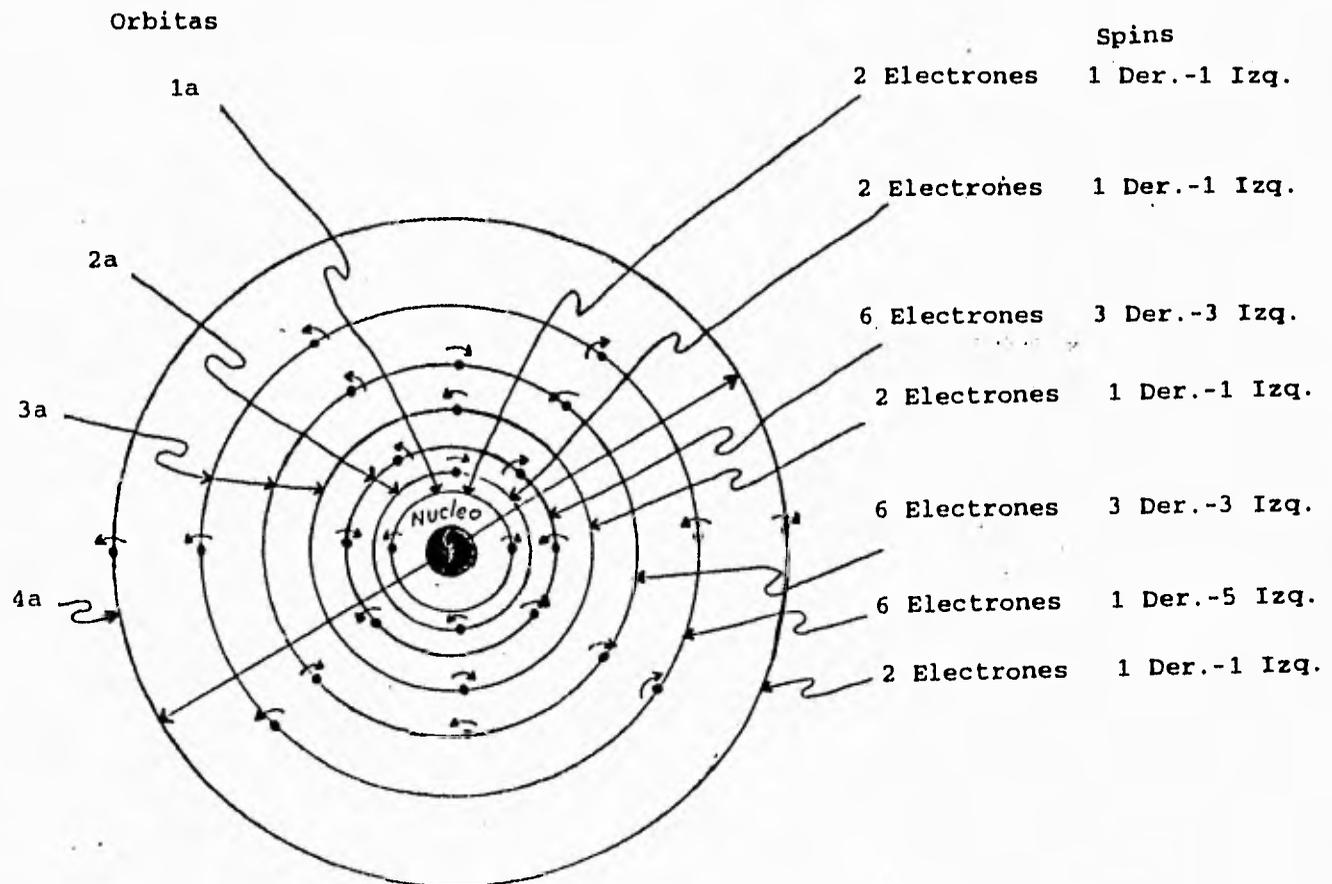


Fig. 1.1 Distribución electrónica de un átomo de hierro (Fe) magnetizado.

En la figura 1.1 tenemos la estructura interna de un átomo de material ferromagnético y se muestra el arreglo necesario para la creación del magnetismo.

El giro descompensado o fuera de balance en la tercera órbita cuántica incompleta junto con las características dimensionales específicas crean un momento magnético o fuerza. Los momentos magnéticos en los átomos vecinos son acomodados en forma paralela como se ilustra en la figura 1.2 debido a las fuerzas mecánicas cuánticas de manera parecida a las fuerzas que mantienen al sol, la luna, las estrellas y la tierra en sus posiciones relativas.

Los átomos teniendo esas características magnéticas son agrupados en regiones llamadas dominios.

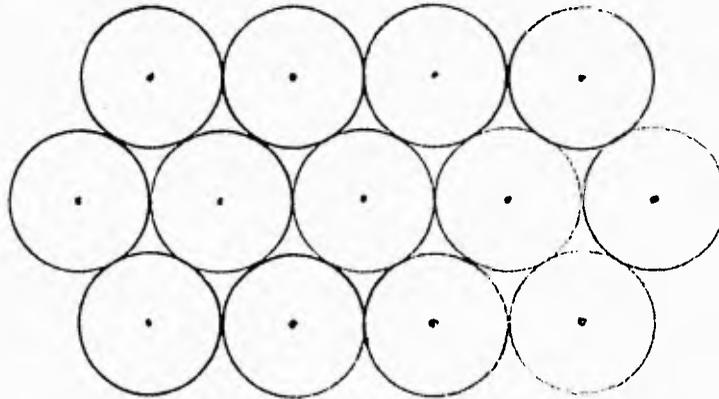


Fig. 1.2 Colocación paralela de los momentos magnéticos

Un dominio es el imán permanente más pequeño que se conoce (ver figura 1.3). 6,000 dominios ocupan un área comparable en tamaño a la cabeza de un alfiler común. Un dominio está compuesto aproximadamente por un cuadrillón ( $1 \times 10^{15}$ ) de átomos. Si un átomo tuviera el tamaño de una esfera con diámetro de 1/2 pulgada, entonces un dominio formado por estas esferas, rodearía la tierra con una banda de 48.3 kilómetros de espesor.

En un material ferromagnético, no magnetizado, los dominios están orientados aleatoriamente y neutralizan a otros dominios, sin embargo, las fuerzas magnéticas están presentes, como se ilustra en la figura 1.3.

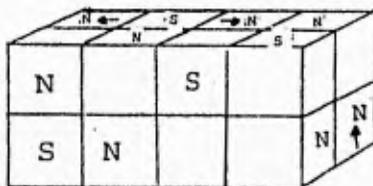


Fig. 1.3 Orientación de dominios magnéticos en un material magnetizado.

La aplicación de un campo magnético externo, causa que el magnetismo en los dominios se alinie como se ilustra en la figura 1.4 ayudado

por otros dominios y éstos a su vez, ayudados por el campo magnético.

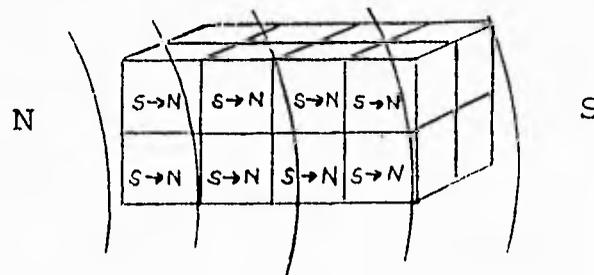


Fig. 1.4 Dominios magnéticos alineados por un campo externo

En algunos materiales magnéticos como el hierro dulce, basta con un campo magnético pequeño para que produzca un gran alineamiento, pero debido a que la fuerza es muy pequeña, sólo se retiene un magnetismo infimo cuando el campo externo se remueve.

En otros materiales como el Alnico (Aleación de aluminio, níquel y cobre), se requiere de un campo externo muy fuerte, para causar la orientación de los dominios, pero queda retenida dicha orientación cuando el campo es removido. Esta crea un magneto permanente que posee unos polos "Norte" y "Sur", que reciben su nombre debido al hecho de que una barra magnética suspendida libremente, siempre

tiende a alinearse con los polos Norte y Sur de la tierra, como por ejemplo el compás magnético o brújula (ver figura 1.5).

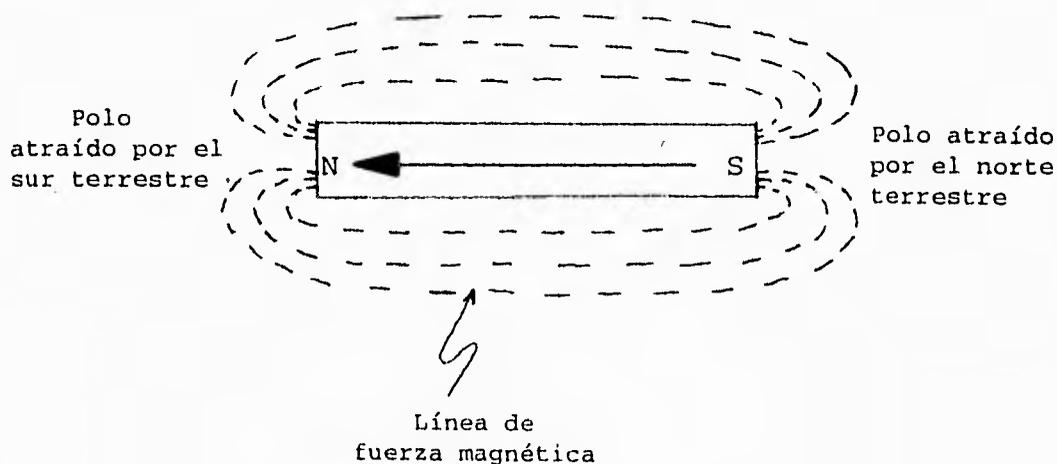


Fig. 1.5 Orientación de una barra magnetizada

Esto ocurre debido a que los polos distintos de un magneto son siempre atraídos por otras líneas de fuerza invisibles, y al mismo tiempo los polos iguales se repelen.

Una vez conocidos los principios del magnetismo, es necesario definir algunos conceptos que se derivan de éste.

Dentro de los materiales que existen en la naturaleza o que existen gracias al hombre, existe una división de acuerdo a sus propiedades magnéticas. Esta división es como sigue:

- **Materiales Ferromagnéticos:** Presentan fuertes propiedades magnéticas y suelen ser los que se emplean en la fabricación de aparatos que trabajen a base de campos magnéticos. Ejemplos: hierro, cobalto y níquel.
- **Materiales Paramagnéticos:** Son materiales que presentan propiedades magnéticas pero mucho más débiles que los anteriores como el Aluminio y el Platino, aunque también son atraídos por los imanes pero con fuerzas muy bajas.
- **Materiales Diamagnéticos:** Son repelidos aunque muy débilmente por el imán.
- **Materiales Astáticos:** No tienen ninguna o casi ninguna propiedad magnética.

Las propiedades magnéticas de los materiales ferromagnéticos se mantienen cuando se trabaja a temperaturas inferiores a una concreta denominada Temperatura de Curie, a partir de la cual todos ellos pierden repentinamente dichas propiedades. Esta temperatura es diferente para los diversos materiales, siendo para el hierro de 760 °C el níquel de 358 °C y para el cobalto de 1,113 °C.

A continuación se definen algunos términos que se emplearán a lo largo de este trabajo, con el fin de hablar en un mismo lenguaje.

- **Magnetismo Residual:** Es el aumento del magnetismo retenido por una substancia magnética.
- **Remanencia:** Es la capacidad de inducir magnetismo de un

material previamente magnetizado, hacia otro material. Una cinta magnética que tenga alta remanencia implica que tendrá una alta respuesta de salida.

- **Retentividad:** Es la habilidad de una sustancia de retener una carga magnética. Por ejemplo, el hierro dulce puede ser magnetizado fácilmente, pero éste pierde rápidamente esta propiedad.
- **Permeabilidad:** Cuando se introducen algunos materiales magnéticos en un campo magnetizante, el número de líneas de flujo en el material se incrementa enormemente y excede varias veces a las del campo. La permeabilidad de un material se define como la relación entre el número de líneas de fuerzas que pasan a través de un área determinada cuando ésta es ocupada por una sustancia magnética y el número de líneas de fuerza que pasan a través de la misma área cuando es ocupada por aire o vacío. El símbolo ( $\mu_0$ ) es usado para denotar permeabilidad.
- **Coercitividad (o fuerza coerciva):** Es la fuerza magnética que se requiere para reducir a cero el magnetismo residual de un objeto previamente magnetizado, la fuerza aplicada, debe de ser de

polaridad opuesta.

Los conceptos anteriores se refieren estrictamente al fenómeno magnético. Sin embargo existe una estrecha relación entre el magnetismo y la electricidad.

Alrededor de 1820, el físico danés H.C. Oersted, encontró que al colocar un imán en la vecindad de un alambre por el que fluye una corriente eléctrica, el imán sufre una desviación, lo que muestra que se ejerce sobre él una fuerza. Así en la vecindad del alambre se genera un campo de inducción magnética. Si el alambre es recto, las líneas de inducción son círculos normales al alambre y con centro en él; esto se ilustra en la figura 1.6.

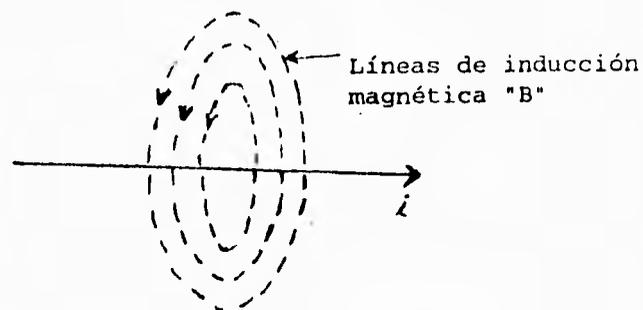


Fig. 1.6 Creación de líneas de inducción magnética debido a una corriente eléctrica

Lo anterior comprueba la hipótesis de André Ampère quien también en

1820, sugirió que la causa básica de magnetismo podía encontrarse en el movimiento de partículas cargadas en el interior del átomo, como se explicó anteriormente.

También en 1820, Biot y Savart encontraron la relación cuantitativa entre la inducción magnética en cualquier punto del espacio y la corriente que la produce. Considérese una pequeña longitud  $\Delta l$  de un alambre que lleve una corriente  $i$ . Biot y Savart encontraron que la inducción magnética en un punto  $P$  a una distancia  $r$  del pedazo de alambre está dada por la expresión 1.1:

$$\Delta \bar{B} = (\mu_0 / 4\pi) i \Delta l \text{ sen } (\alpha / r^2) \quad . . . . . (1.1)$$

donde:  $\Delta \bar{B}$  = Inducción magnética en el punto  $p$   
 $\alpha$  = Angulo entre  $r$  y la longitud del conductor,  
 $\mu_0$  = Permeabilidad del vacío

Para determinar la dirección de  $B$ , se emplea la llamada "Regla de la mano derecha": Si el pulgar de esta mano apunta en la dirección de la corriente, entonces, al cerrar la mano, los dedos apuntarán en la dirección del campo magnético.

Es importante aplicar la ley de Biot - Savart, para definir el campo magnético en el centro de un alambre por el que fluye una corriente  $i$  (lo que sería una espira de alambre). Véase la fig. 1.7.

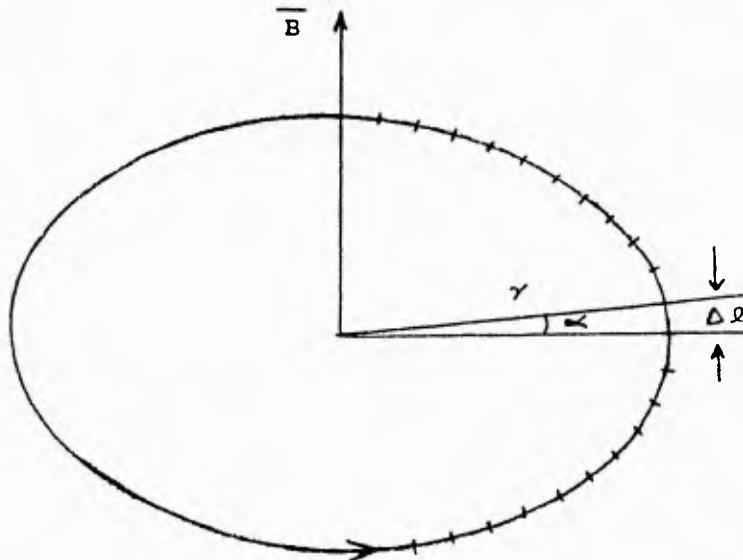


Fig. 1.7 Creación de un campo magnético B, en el centro de una corriente circular

En este caso  $\Delta l$  y  $r$  son perpendiculares. Así, el campo  $\Delta B$  producido por el elemento  $\Delta l$  del alambre está dado por la expresión:

$$\Delta \vec{B} = (\mu_0 / 4\pi r^2) i (\Delta l / r) \dots \dots (1.2)$$

Obsérvese que la dirección de  $\Delta \vec{B}$  es perpendicular al plano del alambre y apunta hacia arriba. Imaginemos ahora el alambre dividido en un número grande de pequeños arcos de longitud  $\Delta l$ . Al sumar los campos producidos por cada uno de los elementos, ya que  $r$  es constante y  $\sum \Delta l = 2\pi r$ , se obtiene la ecuación 1.3:

$$\bar{B} = (\mu_0/2) (i/r) \quad . . . . . (1.3)$$

Vimos cómo una corriente eléctrica, o bien cargas eléctricas en movimiento son, en último análisis, las que producen el campo magnético. Cabe preguntarse si, bajo ciertas circunstancias, sería posible que un campo magnético provocara el movimiento de una carga eléctrica; la respuesta es afirmativa, y a este fenómeno se le conoce con el nombre de inducción electromagnética.

Por simplicidad, consideremos una espira plana en un campo magnético uniforme  $\bar{B}$ , como en la figura 1.8a. Al variar la intensidad del campo magnético  $\bar{B}$ , se observa que en la espira se genera una corriente  $i$  cuya magnitud será tanto mayor cuanto mayor sea la rapidez con la que varía el campo  $\bar{B}$ . Asimismo, se encuentra que la corriente es proporcional al área  $A$  de la espira. Por otra parte, la presencia de la corriente indica que se genera un campo eléctrico  $E$  dentro de la espira cuya intensidad será proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica  $i$ . Así, el campo eléctrico  $E$  generado será proporcional al área  $A$  de la espira y a la rapidez con la que varía la inducción magnética, o sea:

$$E \propto A (\Delta \bar{B} / \Delta t) \quad . . . . . (1.4)$$

donde  $\Delta \bar{B}$  es lo que ha variado el campo durante el tiempo  $\Delta t$ .

Consideremos ahora una espira cuya área  $A$  puede variar en el tiempo

(obsérvese la figura 1.8b).

Observamos que al variar el área  $A$  se generará una corriente en la espira. Su magnitud será tanto mayor cuanto mayor sea la rapidez con la que varía el área de la espira. Por otra parte, se encuentra que la corriente generada es también proporcional a la intensidad de la inducción magnética  $B$ . Como la corriente ha sido generada por un campo  $E$  dentro de la espira, se puede escribir la expresión 1.5:

$$E \propto B (\Delta A / \Delta t) \quad . . . . . (1.5)$$

donde  $A$  es lo que ha variado el área de la espira durante el tiempo  $\Delta t$ .

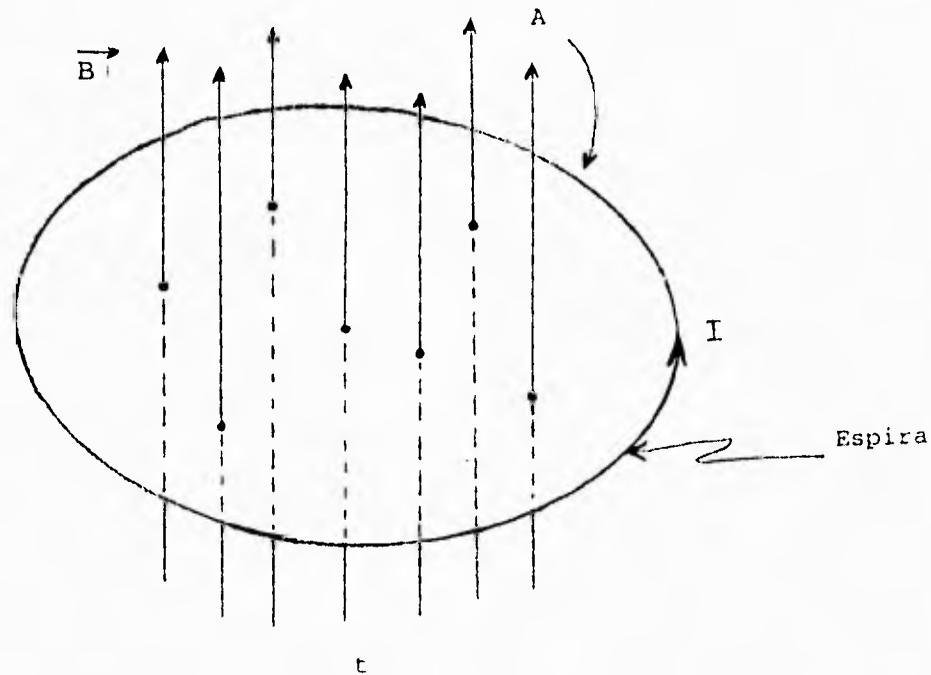


Fig. 1.8a

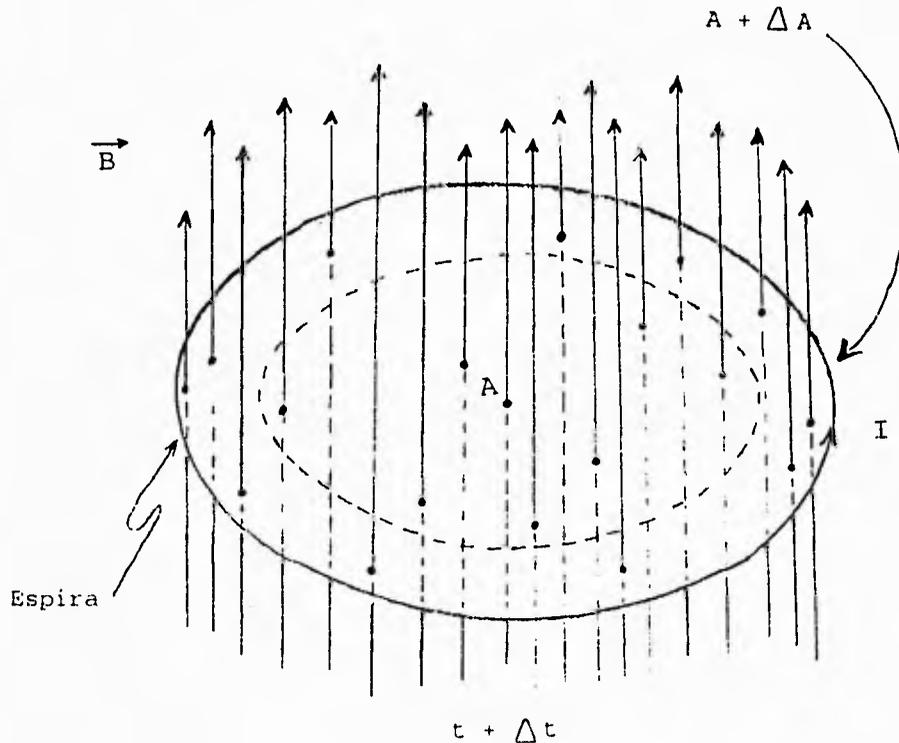


Fig. 1.8b

Fig. 1.8 Producción de un Campo Eléctrico en una espira conductora

- (a) Campo Eléctrico en la espira conductora de área A.
- (b) Campo Eléctrico mayor debido al incremento del área de la espira conductora

En el primer caso (expresión 1.4), el campo  $E$  fue producido por una variación  $\Delta \bar{B}$  de la inducción magnética  $\bar{B}$  en el tiempo  $\Delta t$  permaneciendo constante el área  $A$ ; en el segundo caso la corriente se originó por una variación  $\Delta A$  del área  $A$  en el tiempo  $\Delta t$

permaneciendo constante la inducción B. Al variar simultáneamente ambas cantidades se tendrá que la corriente generada estará dada por la ecuación 1.6:

$$A (\Delta \bar{B} / \Delta t) + (\Delta A / \Delta t) B = \Delta (AB) / \Delta t \quad . . . . . (1.6)$$

El producto AB representa el número de líneas de inducción magnética que encierra la espira y recibe el nombre de flujo magnético,  $\Phi_{mr}$ . Entonces lo que determina la intensidad de la corriente es la rapidez con la que varía el flujo magnético en la espira.

Por otra parte, el sentido de la corriente deberá ser tal que la dirección del campo magnético que genera tenderá a oponerse al cambio en el número de líneas de inducción encerradas por la espira.

Al hecho experimental anteriormente enunciado se le conoce como Ley de Lenz.

Para terminar, resumiremos, aunque en forma simplificada, cuatro leyes fundamentales del electromagnetismo:

1. Polos iguales se rechazan y polos diferentes se atraen.
2. No existen polos magnéticos aislados.
3. Se puede generar un campo eléctrico cuando el flujo de campo magnético varía en el tiempo.
4. Se puede generar un campo magnético cuando el flujo de

campo eléctrico varía en el tiempo.

Ahora, se definirán algunos conceptos relacionados con el magnetismo y con la electricidad:

- **Saturación magnética:** El punto de saturación magnética es alcanzado cuando el número de líneas de flujo en un material magnético llega a un valor en el que un incremento de la corriente ya no causa un magnetismo adicional o bien decrece la magnetización.
- **Corrientes de Eddy:** Son corrientes pequeñas que se producen en el interior de un conductor causadas por el movimiento de un campo magnético próximo a dicho conductor. Esta acción se puede comparar con un remolino de agua. Este término se asocia generalmente a los materiales magnéticos, pero las corrientes de Eddy pueden ser inducidas en otros materiales que no tengan propiedades magnéticas.
- **Núcleo magnético:** Consiste generalmente de un grupo de láminas de hierro o una pieza sólida de material magnético. Los núcleos se utilizan con espiras o bobinas como en los transformadores para realizar acoplamientos magnéticos. Cuando se usan en circuitos de corriente alterna, el núcleo es laminado, es decir, está construido por delgadas hojas de hierro para reducir el efecto de las corrientes de Eddy, ya que estas corrientes producen un efecto Joule y habría

pérdidas de energía por calor y al mismo tiempo daños a las bobinas por pérdidas de histéresis.

- **Reluctancia:** Oposición al flujo magnético, es comparable al fenómeno de resistencia eléctrica. Existe un valor diferente de reluctancia para diferentes materiales y este valor depende también de las dimensiones del material.
- **Pérdidas de histéresis:** Es la pérdida de potencia en un núcleo magnético, debida a la fricción interna de las moléculas del material. La histéresis es causada por las corrientes de Eddy y se manifiesta en forma de calor.
- **Gauss y Oersted:** Gauss es la unidad electromagnética del sistema cgs para medir inducción magnética.  
El Oersted es la unidad de intensidad magnética (H) en el sistema cgs.
- **Superficie de inducción:** Es una medida cuantitativa de la intensidad con la que queda almacenada una señal en una cinta magnética. El flujo magnético es medido en la superficie de la emulsión magnética donde la señal es normalmente depositada por la cabeza reproductora.

Hasta aquí he realizado un breve recorrido de los principios que se aplican en la reproducción magnética del sonido. Estos principios servirán de base para estudiar los procesos de grabación y reproducción en cinta magnética.

### 1.3 APLICACION DEL ELECTROMAGNETISMO EN LA MAQUINA DE GRABACION Y REPRODUCCION DE SONIDO.

Imaginemos una cinta magnética de las utilizadas corrientemente en los magnetófonos. Básicamente 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 un material ferromagnético. En la mayoría de los casos se utilizan diversas variedades del 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, que 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 corresponda en general con la de la cinta. De este modo pueden ser magnetizadas en una u otra dirección dependiendo del campo magnético que se les aplique.

Todas las sustancias ferromagnéticas, y por supuesto la capa sensible de una cinta magnetofónica, se imana bajo el efecto de un campo magnético de acuerdo a un proceso cuya representación esquemática corresponde al de la figura 1.9.

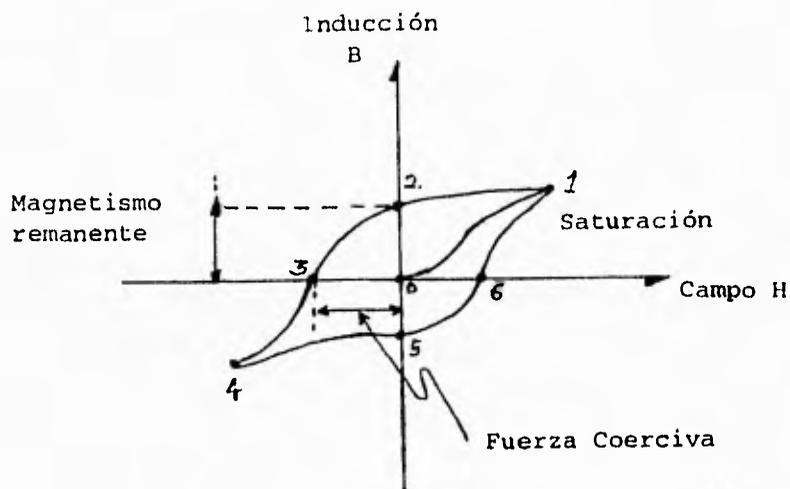


Fig. 1.9 Gráfica que representa el ciclo de histéresis magnética

La curva muestra la forma en que se magnetiza cualquier sustancia. El tramo 0-1 corresponde a la magnetización propia de la sustancia antes de ser expuesta a los efectos del campo magnetizante. Si partimos del punto 0 (sustancia sin magnetizar), el elemento adquiere mayor grado de imanación según aumenta el valor del campo magnético aplicado hasta alcanzar el punto de saturación a partir del cual, aunque aumente el valor del campo aplicado, permanece constante la magnetización de la sustancia y la curva se mantiene paralela al eje de abscisas.

Si posterior y paulatinamente se hace decrecer el valor del campo

aplicado  $H$ , la curva recorre el tramo comprendido entre los puntos 1 y 2. En el punto 2 se observa que, con un valor nulo del campo magnético aplicado, la sustancia se mantiene imanada; esto implica que cualquier sustancia sometida a un campo magnético no sólo se imana mientras existe éste sino que, una vez desaparecido, mantiene un cierto grado de magnetización denominado magnetismo remanente.

Para que disminuya el valor alcanzado en el punto 2 es preciso crear un campo de polaridad opuesta a la anterior e ir aumentando su intensidad (porción 2-3 de la curva). En el punto 3 la sustancia se vuelve magnéticamente neutra (desaparece la imanación); el valor del campo magnético en este punto se denomina fuerza coerciva. A partir del punto 3 de la curva, los aumentos de la intensidad del campo magnético inverso producen un efecto de imanación negativa hasta que en el punto 4 se llega a un estado de saturación.

Desde el punto 4 hasta el 1, el proceso es similar al descrito al recorrer la curva en el sentido 1-4.

La gráfica anterior se conoce en términos físicos como ciclo de histéresis.

En la figura 1.10, se muestra la distribución interior de elementos en una cabeza magnética. Pueden observarse las bobinas y las piezas polares (dos juegos en la figura, cada uno de ellos correspondiente a

un canal estereofónico).

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 divide ambos polos; las dimensiones de dicho entrehierro se expresan en micras y su valor definitivo depende del tipo de aplicación de la cabeza y la inversión (tiempo y dinero) que el fabricante haya destinado a su producción.

A continuación se explicará el funcionamiento de este dispositivo.

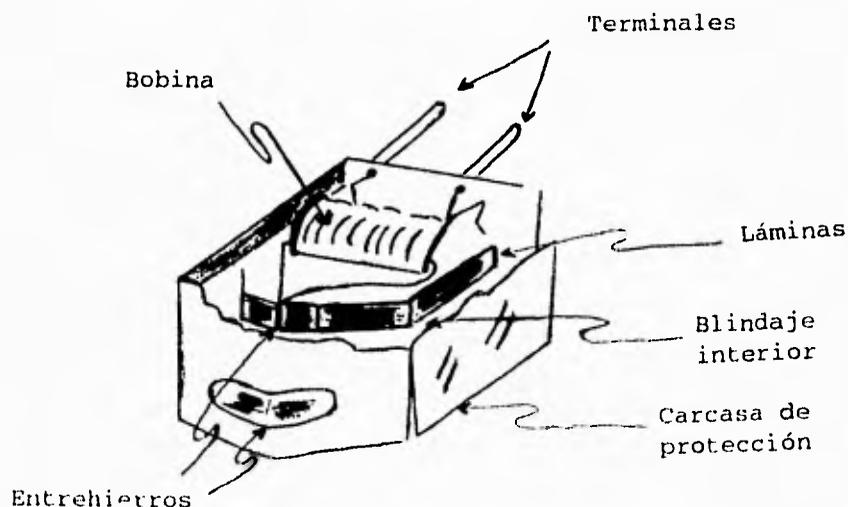


Fig. 1.10 Esquema de una cabeza magnética

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

El 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 en 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.

El campo en el entrehierro es una representación magnética de la señal eléctrica de audio que circula por la bobina. Un tono puro puede representarse de forma gráfica por una curva sinusoidal, según se muestra en la figura 1.11.

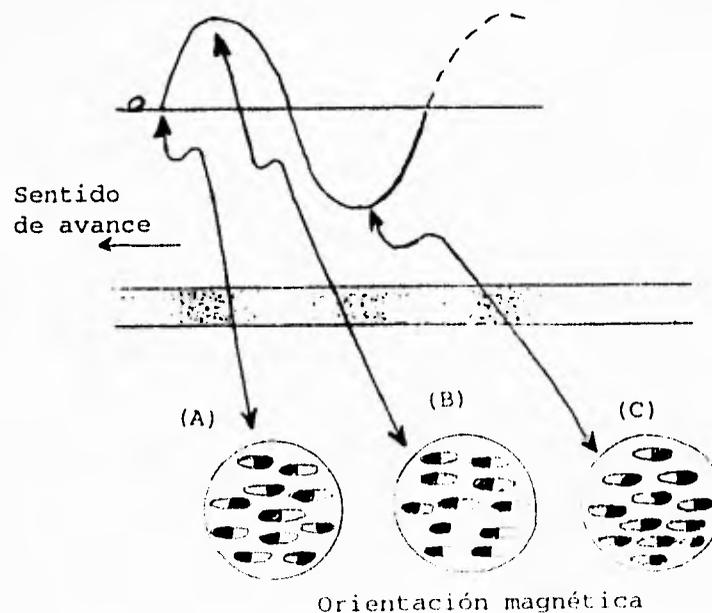


Fig. 1.11 Registro de un tono puro en una cinta magnética

Esta forma de onda muestra cómo cambia la señal en intensidad y dirección (polaridad) en un período de tiempo determinado por la frecuencia. La mitad superior de la curva representa la variación de intensidad de la señal cuando aumenta, llega al valor máximo y retorna al punto cero. La mitad inferior muestra el mismo fenómeno en sentido contrario cuando el flujo de corriente es inverso. La representación completa de dicho gráfico es la señal alterna en un ciclo completo de funcionamiento; en la parte a trazos comienza otra porción del ciclo. El campo magnético que esta señal produce en la cinta sigue la variación de ésta en forma exacta; aumenta y decrece cuando lo hace la corriente y cambia la polaridad cuando la corriente cambia de sentido.

Cuando la cinta pasa ante la cabeza, sus partículas magnéticas (que hasta este momento presentaban una disposición aleatoria) son afectadas por el campo magnético constantemente variable del entrehierro. Como puede comprobarse en la figura 1.11, el máximo flujo magnético coincide con los picos de la curva. En estos puntos las partículas de óxido (que se comportan como imanes en miniatura) quedan orientadas magnéticamente con sus polos norte a la izquierda. La corriente vuelve entonces a cero, se invierte, y comienza a aumentar de nuevo en sentido opuesto. En este nuevo pico las partículas están orientadas magnéticamente orientado de forma inversa a la disposición anterior (las partículas en sí no se mueven, únicamente cambian la polaridad e intensidad de su magnetismo). En conclusión,

el movimiento de la cinta continúa y las variaciones de señal quedan registradas como una serie de impulsos magnéticos, que a su vez dependen de la intensidad, polaridad y frecuencia de la señal.

De cualquier forma, una parte interesante del proceso de grabación magnetofónica es relacionar el valor de la magnetización remanente en función del flujo magnético, puesto que definitivamente son los valores de magnetismo remanente los que quedan grabados en la cinta.

La figura 1.12 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.

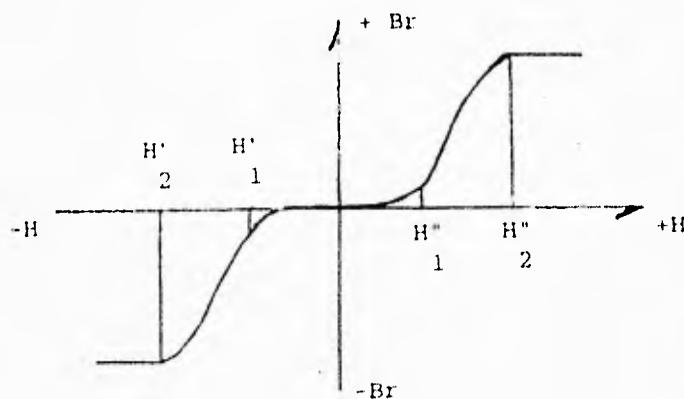


Fig. 1.12 Comportamiento del magnetismo remanente de la cinta magnetofónica

Observando la curva de la figura vemos que la relación entre B y H no es lineal más que en dos zonas: de  $H'_1$  a  $H'_2$  y de  $H''_1$  a  $H''_2$

Supongamos que queremos registrar una señal alterna y que la cabeza de grabación somete a la cinta en movimiento a un campo proporcional a esta señal. Gracias a la característica de registro de la figura 1.12 podemos fácilmente trazar la relación entre la señal y la inducción remanente existente en cada punto de la cinta, originalmente neutra (ver figura 1.13a).

La construcción gráfica revela que se está lejos de la relación proporcional. Las señales débiles no dejan ninguna traza en la cinta, mientras que las señales fuertes son "recortadas" a la vez por la parte alta y por la parte baja. Utilizada tal como es para el registro de la señal musical, la característica de la figura daría resultados muy negativos y absolutamente inaceptables; es preciso, pues, idear un sistema que evite este inconveniente.

La solución aplicada consiste en superponer la señal de grabación a un nivel de corriente (continua o alterna) de igual modo que se hace en los montajes transistorizados para llevar el punto de funcionamiento hasta las zonas lineales de las curvas características. El sistema que se aplica a la curva de registro tiene cierta similitud con la polarización de un dispositivo

electrónico activo (válvula, transistor o circuito integrado) y por esta razón se denomina "polarización". A la corriente que se superpone a la señal de registro se conoce como "corriente de polarización".

#### **1.4 POLARIZACION DE LA CABEZA POR CORRIENTE CONTINUA**

Describiremos someramente este sistema, ya que no se emplea prácticamente en la actualidad, más que en máquinas baratas. Consiste en añadir una corriente continua sobre la cabeza de registro a la que también se aplica la corriente de baja frecuencia a registrar.

La polarización por corriente continua presenta graves inconvenientes.

- a) La característica de registro se aprovecha mal, puesto que sólo se utiliza una rama de la curva.
- b) La magnetización de la cinta no se interrumpe en las zonas de pausa de la señal de grabación.
- c) La reproducción va acompañada de un ruido de fondo importante.

La causa de este ruido hemos de buscarla en la estructura de la capa

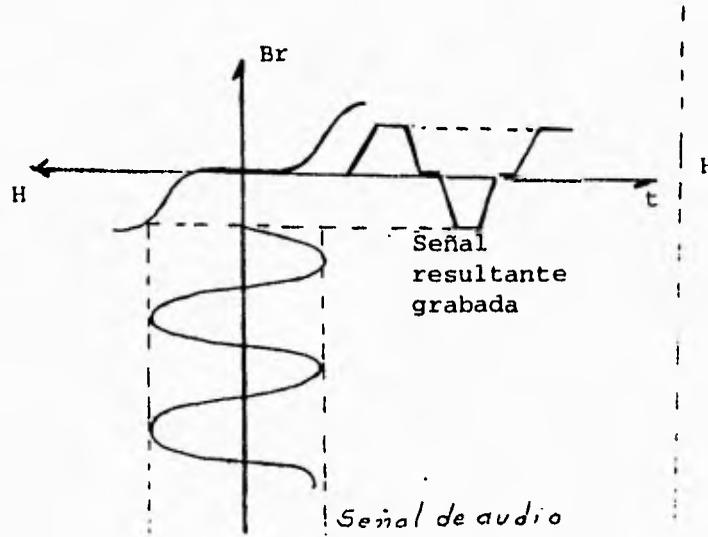
magnética de la cinta; las partículas no están repartidas en ella de manera perfectamente regular. El espesor de la capa sensible no es tampoco rigurosamente constante, lo que se traduce en una magnetización variable (debido a las imperfecciones de la cinta) que la reproducción pone de manifiesto de forma evidente.

Actualmente, esta modalidad de polarización sólo se emplea en aparatos magnetofónicos de tamaño reducido (que emplean generalmente un imán permanente), dictáfonos, etc.

Los inconvenientes de la polarización por corriente continua han sido eliminados polarizando con una corriente alterna de frecuencia ultrasónica.

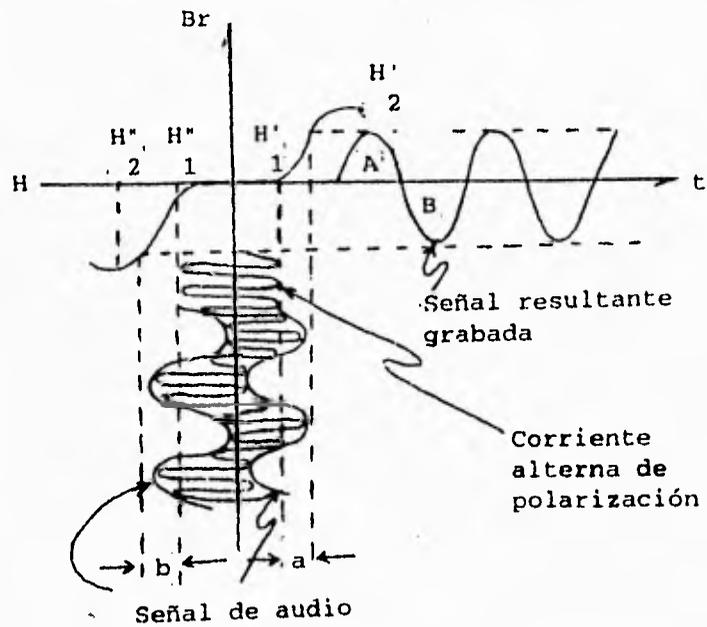
#### **1.5 POLARIZACION POR CORRIENTE ALTERNA**

En este sistema se superpone la señal de grabación a una tensión de alta frecuencia de nivel fijo en la forma representada en la figura 1.13.



Sin polarizar la cabeza .

**Fig. 1.13** Relación entre la señal y la inducción remanente  
 (a) Sin polarizar la cabeza



Polarizando la cabeza por A.C.

Fig. 1.13 Relación entre la señal y la inducción remanente

(b) Polarizando la cabeza por A.C.

Observando la figura vemos que, eligiendo un valor de amplitud adecuado para la señal de alta frecuencia, es posible evitar la zona de la curva de transferencia que coincide con el eje horizontal (principal fuente de distorsiones de grabación).

Es importante hacer notar que no se trata de un proceso de

multiplicación de amplitud de la corriente de polarización por la señal de audio, como a veces erróneamente se interpreta, sino simplemente de una suma que no debe confundirse con una modulación.

En este proceso la construcción correcta de la forma de onda de la señal requiere un ensamblaje entre las semiondas positiva y negativa, en el que el ajuste preciso del nivel de alta frecuencia tiene un papel de primera importancia.

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

- a) La distorsión se reduce considerablemente.
- b) En ausencia de la señal de baja frecuencia la inducción remanente es nula. El ruido de fondo debido a la cinta no aumenta; incluso es menor el ruido de una cinta sometida a una corriente de polarización que el de una cinta virgen.
- c) Se aprovechan las dos partes lineales de la curva. La corriente de BF a grabar se traducirá por una variación mayor de la inducción remanente, condición deseable para obtener una buena relación señal/ruido.

Utilizando polarización con corriente alterna, la relación lineal obtenida entre la corriente de BF a registrar y la inducción remanente de la cinta no se mantiene mas que cuando los valores

multiplicación de amplitud de la corriente de polarización por la señal de audio, como a veces erróneamente se interpreta, sino simplemente de una suma que no debe confundirse con una modulación.

En este proceso la construcción correcta de la forma de onda de la señal requiere un ensamblaje entre las semiondas positiva y negativa, en el que el ajuste preciso del nivel de alta frecuencia tiene un papel de primera importancia.

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

- a) La distorsión se reduce considerablemente.
- b) En ausencia de la señal de baja frecuencia la inducción remanente es nula. El ruido de fondo debido a la cinta no aumenta; incluso es menor el ruido de una cinta sometida a una corriente de polarización que el de una cinta virgen.
- c) Se aprovechan las dos partes lineales de la curva. La corriente de BF a grabar se traducirá por una variación mayor de la inducción remanente, condición deseable para obtener una buena relación señal/ruido.

Utilizando polarización con corriente alterna, la relación lineal obtenida entre la corriente de BF a registrar y la inducción remanente de la cinta no se mantiene mas que cuando los valores

máximos del campo producido por la corriente de registro quedan comprendidos entre los valores  $H'_1$ ,  $H'_2$ , por el lado positivo y  $H''_1$  y  $H''_2$  por el lado negativo.

Será pues necesario limitar la corriente de BF a grabar de forma que no sobrepase un valor máximo denominado corriente de saturación. Si este valor se supera, aparecería una fuerte distorsión.

Hasta este momento hemos analizado la relación existente entre el flujo magnetizante y el grado de imanación de la cinta. Estudiemos ahora la relación entre el flujo magnético y la corriente de grabación.

#### 1.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE GRABACION Y REPRODUCCION

Volvamos a la cabeza magnética que se ilustró anteriormente. Observamos que simplemente se trata de una bobina devanada sobre un núcleo de material ferromagnético. Supongamos que se graban una serie de frecuencias manteniendo la señal de audio a un nivel constante; si posteriormente se hace pasar la cinta que contiene dicho registro ante una cabeza de reproducción y se controla la tensión de salida correspondiente al registro de cada frecuencia, el resultado es una curva análoga como la representada en la figura 1.14.

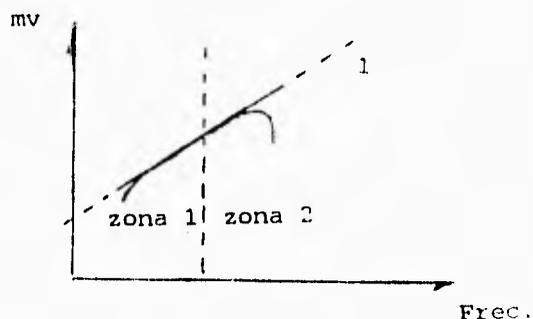


Fig. 1.14 Función de transferencia de la reproducción de una cinta grabada con tonos de diferentes frecuencias

Como características principales de dicha curva observamos:

- a) Caída de las frecuencias bajas.
- b) Atenuación de las frecuencias altas.

Analícemos con más detalle a ambos extremos.

a) **Tensión proporcional a la frecuencia.**- En la parte izquierda de la curva, el nivel de salida aumenta a medida que sube la frecuencia con una pendiente de 6 dB por octava.

Las causas de este comportamiento explican por qué la tensión de la cabeza de reproducción se enuncia por la expresión 1.7, según la ley de inducción.

$$- e = \Delta \Phi / \Delta t \quad \dots \dots \dots (1.7)$$

Puede demostrarse que dicha ecuación se reduce a la expresión 1.8:

$$- e (2 \bar{\Phi} \max) / (1/2f) = (k) (f) \dots \dots \dots (1.8)$$

donde:  $k = \text{constante}$   
 $f = \text{frecuencia}$

La tensión es directamente proporcional a la frecuencia, lo cual implica que cuanto más baja sea la frecuencia a grabar menor será la tensión inducida en la cabeza de reproducción.

b) **Atenuación de las frecuencias altas.**- Continuemos analizando la curva de la figura 1.14. El aumento de la tensión inducida en la cabeza debería teóricamente continuar según la recta 1 de dicha figura. Sin embargo, la relación 1.7 que corresponde a dicha recta se basa en que la variación de flujo es constante. Esta suposición es falsa, ya que a partir de cierto valor disminuye debido a las siguientes causas:

**1. Desimianación espontánea de la cinta.**

Este fenómeno se manifiesta tanto más cuanto mayor es la frecuencia. Para disminuir estas pérdidas es preciso aumentar la longitud de onda aumentando la velocidad.

## **2. Influencia de la dimensión del entrehierro.**

En efecto, el flujo captado por el entrehierro es función de la frecuencia, para una velocidad constante del paso de la cinta. Cuanta menor sea la longitud de éste, mayor será su sensibilidad para captar frecuencias elevadas.

## **3. Contacto cinta/cabeza.**

Cuanto mejor sea el contacto físico cinta/cabeza mayor es la tensión de salida de ésta sobre todo a frecuencias altas. Téngase en cuenta que una separación entre cinta y cabeza equivale a un aumento de la longitud efectiva del entrehierro con sus efectos sobre la tensión de salida de la cabeza comprobados en el apartado anterior.

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

- a) Capacitancias 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 atenuación en frecuencias altas, analizada en el apartado anterior, se debe a ciertas causas, en concreto las pérdidas a, b, y c que están directamente relacionadas con la distancia ocupada en la cinta por una longitud de onda de la señal; al modificar la señal se

altera dicho espacio y las pérdidas se producen cuando se alcanza esta distancia. Como consecuencia podemos resumir que cuanto más alta sea la frecuencia a reproducir mayor ha de ser la velocidad de paso de la cinta.

Como ya se ha puesto de manifiesto, la cabeza magnética no es más que una bobina arrollada a un material ferromagnético, por lo tanto, su impedancia, de naturaleza inductiva, varía con la frecuencia. Generalmente para eliminar este inconveniente se recurre a trabajar con corriente constante en vez de mantener constante el voltaje. 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.

Este factor de gran importancia en todos los sistemas de transmisión de información cobra singular importancia en el caso de la grabación magnetofónica, ya que desafortunadamente siempre existen unos ruidos que inevitablemente son inherentes o bien a las cabezas magnéticas o bien al soporte magnético (cinta). Analicemos con más detalle ambas fuentes de ruido.

Por ser la cabeza de reproducción sensible a las variaciones de flujo magnético habrá que tener en cuenta que no exista ningún campo magnético en las proximidades del magnetófono, así como aislar (con

un buen blindaje) transformadores de alimentación y motores del propio aparato.

El ruido de cinta o soplido se acusa principalmente en el margen de las frecuencias altas y depende del número de cristales que aparecen ante la cabeza de reproducción. Para reducir en lo posible sus efectos previamente a la grabación, se somete la cinta a un flujo magnético variable de muy alta frecuencia que actúa positivamente sobre la orientación media de los cristales y por tanto sobre el ruido generado por éstos.

Por otra parte, la mejora en la relación señal/ruido puede hacerse tanto reduciendo en lo posible el valor del ruido como aumentando al máximo la señal en grabación (dentro de los límites que impone la realización de un buen registro). Analicemos seguidamente los factores que contribuyen a mejorar la magnitud de la señal reproducida, suponiendo un valor constante de flujo magnético creado por la cinta.

Cuanta mayor sea la superficie de la pista grabada tanto mayor será también 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.

Aumentando la longitud del entrehierro crece la tensión de salida,

pero, como contrapartida, se reduce la respuesta en frecuencias altas. En la práctica, el diseño de las cabezas de reproducción se realiza siempre teniendo en cuenta el compromiso entre nivel de señal y respuesta en frecuencia.

Anteriormente hemos comprobado que una señal de tensión constante y frecuencia variable, aplicada a la cabeza de grabación, no produce una curva de la misma forma a la salida de la cabeza de reproducción, manifestándose principalmente una pérdida de frecuencias agudas y una atenuación de frecuencias graves. En la práctica se aplican ciertas medidas correctoras, que seguidamente estudiaremos, 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 ecualizan estas frecuencias en el proceso de grabación, en un valor tal que las pérdidas consecuentes 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. El motivo se comprende fácilmente si analizamos lo que sucedería al realzar las frecuencias graves antes del registro. En efecto, en dicha hipótesis el máximo nivel de grabación se tendría siempre para la frecuencia más baja a grabar. Como la cinta impone un valor máximo de registro antes de saturarse, el resto de frecuencias deberían debilitarse, lo que implicaría un nivel de salida limitado en reproducción y una relación señal/ruido deficiente.

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 los magnetófonos de varias velocidades es necesario establecer correcciones diferentes para cada velocidad con el fin de seleccionar la más adecuada en cada caso.

Por otra parte, con objeto de permitir el intercambio de cintas entre aparatos de diferentes marcas, se han establecido curvas de reproducción y grabación normalizadas.

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

### **1.7 CARACTERISTICAS DE LAS CABEZAS DE GRABACION**

En todo equipo de grabación y reproducción magnética del sonido, se utilizan dos o tres tipos de cabezas.

En los equipos muy sofisticados, se utilizan tres cabezas. Una de borrado, una de grabación y una de reproducción.

En equipos no tan sofisticados, se utilizan dos cabezas, una de borrado y otra que sirve ya sea para grabar o bien para reproducir. Ambas funciones se conmutan y se llevan a cabo en una sola cabeza.

#### **CABEZAS DE BORRADO:**

Existen dos tipos de cabezas de borrado, la de imán permanente y la de borrado por oscilador de alta frecuencia.

La cabeza de imán permanente, se utiliza sólo en aparatos baratos, ya que su uso no es muy recomendable, porque introduce un fuerte nivel de ruido de fondo.

Las exigencias de una cabeza de borrado no son tan críticas como las de reproducción y grabación, ya que su función es grabar en la cinta una frecuencia fija elevada que llevará a la cinta al estado neutro o bien a la saturación si se emplea corriente continua.

El entrehierro de estas cabezas suele ser de 0.3 mm.

Para conseguir un borrado más efectivo, se construyen las cabezas con dos entrehierros muy próximos, obteniéndose así dos borrados consecutivos.

Existen dos posibilidades de fabricación para cabezas de borrado: en núcleo cerrado y en anillo, esta última lleva además un entrehierro posterior.

Los núcleos de las cabezas de borrado se construyen de ferrita o bien ferroxcube, materiales de muy pocas pérdidas a las frecuencias altas empleadas (de 40 a 120 Khz) para el borrado.

Las cabezas formadas por núcleos de chapas sólo se emplean cuando la frecuencia de la señal de borrado es muy baja, o se realiza con corriente continua. Estas cabezas van encapsuladas en plástico simplemente y no llevan carcasa metálica; son, por tanto, muy sencillas de indentificar.

#### CABEZAS DE REPRODUCCION Y GRABACION

Su construcción está basada sobre el principio de variación del flujo magnético en el entrehierro de un electroimán por cuyo devanado

circula la corriente de la señal excitadora o de la reproducida en la lectura de la cinta.

El núcleo de dicho electroimán forma un circuito magnético casi cerrado con los dos polos muy próximos y es en este entrehierro donde se efectúa el proceso de transmisión y recepción de información con la cinta, lo que implica que esta zona sea la de más crítica de la cabeza.

Normalmente dicho núcleo no es una pieza única, sino que se construyen dos seminúcleos y sobre cada uno se coloca una bobina, conectando después ambas en serie, es decir, se trata de dos electroimanes puestos en serie (ver figura 1.15).

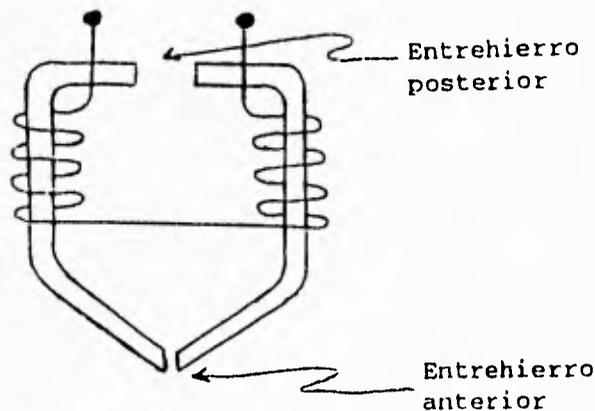


Fig. 1.15 Construcción adecuada del núcleo magnético de la cabeza.

Existen dos entrehierros, como consecuencia de los dos seminúcleos; el entrehierro posterior sirve para evitar que entre ruido a la cabeza, ya que presenta una oposición a los campos exteriores.

El anterior, es por el que se deslizará la cinta, su anchura y acabado son fundamentales para conseguir una buena calidad de grabación y reproducción.

Los núcleos de las cabezas se construyen con material paramagnético (mumetal, aleación de hierro y níquel).

Este núcleo se arma a base de laminillas apiladas, para limitar las pérdidas por corrientes inducidas en el núcleo al ser sometido a un campo variable con lo cual se producen corrientes de Foucault.

Las láminas de núcleo llevan un proceso mecánico llamado recocido que sirve para darle una pureza óptima a la cabeza, ya que ésta se verá sometida a la abrasión de la cinta.

Más aún, la aparición en el mercado de cintas de cromo y más recientemente de metal, que son más abrasivas, ha obligado a los fabricantes a construir las cabezas de aleaciones más resistentes y duras: son las llamadas cabezas de larga vida (Long-Life).

Otro tipo de cabezas, se construyen de ferrita con características

excepcionales en cuanto a dureza, pero por lo mismo, son difíciles de trabajar ya que tiene un entrehierro del orden de micras.

Los entrehierros son ocupados por materiales no magnéticos, se realizan de cobre-berilio o de óxido de silicio. Estos materiales dispersan el campo magnético hacia afuera, consiguiendo así una mayor penetración en la cinta.

Todo lo anterior se encapsula en plástico, protegido luego por una carcasa llamada blindaje.

El blindaje se requiere en grabación para impedir que se introduzca ruido.

En las cabezas para cassette se fijan a la cabeza unas guías para que la cinta no se salga de su posición. Esto se ilustra en la figura 1.16.

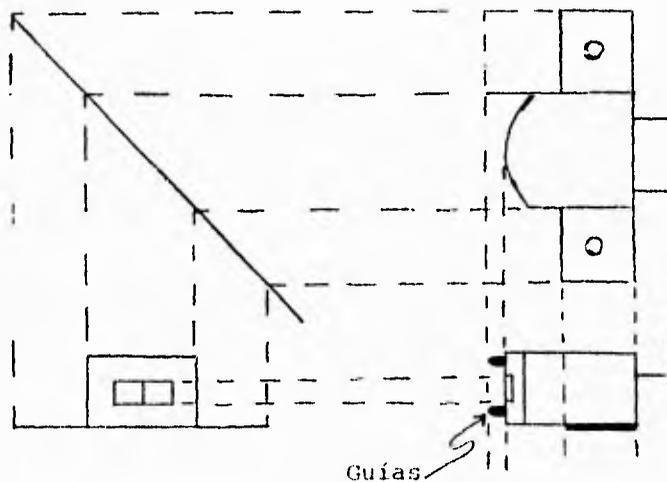


Fig. 1.16 Vistas de una cabeza para cassettes

Durante la grabación, la cinta se ve influida, en su recorrido por el entrehierro, por el campo magnético que esté disperso. La magnetización definitiva la alcanza al abandonar el entrehierro, por eso es muy importante que el borde posterior o de salida del entrehierro sea muy liso, lo más perfecto posible.

La respuesta con la frecuencia obtenida en una grabación magnética con una cabeza determinada, depende de dos factores fundamentales que son la velocidad de avance de la cinta y el entrehierro de dicha cabeza. Así, una señal de 100 Hz, tarda en realizar un ciclo completo en un centésimo (1/100s) de segundo; si la cinta circula a 9.5 cm/s, ocupará sobre ella una longitud:

$$L = 9.5 \times 1/100s = 0.095 \text{ cm (recordando que } L = Vt)$$

Si la cinta se mueve a 19 cm/s, ocupará 0.19 cm, y si lo hace a 4.75 cm, ocupará 0.04775 cm.

Por otro lado, si la frecuencia fuera de 10 KHz, a la primera velocidad de 9.5 cm/s se grabaría una señal en:

$$L = 9.5 \times 1/10000 = 0.00095 \text{ cm} = 9.5 \mu$$

O sea, 9.5 micras de longitud de cinta.

De lo anterior se deduce lo siguiente:

"La longitud de la cinta grabada es directamente proporcional a la velocidad de la cinta e inversamente proporcional a la frecuencia".

De aquí que la principal dificultad de los tocacintas está en las altas frecuencias.

Ahora bien, lo dicho hasta ahora hace importante la longitud del entrehierro de reproducción, ya que éste debe de ser lo suficientemente pequeño para contener menos de una longitud de onda, sea cual sea la frecuencia.

La razón de esta afirmación se ve claramente en la figura 1.17.

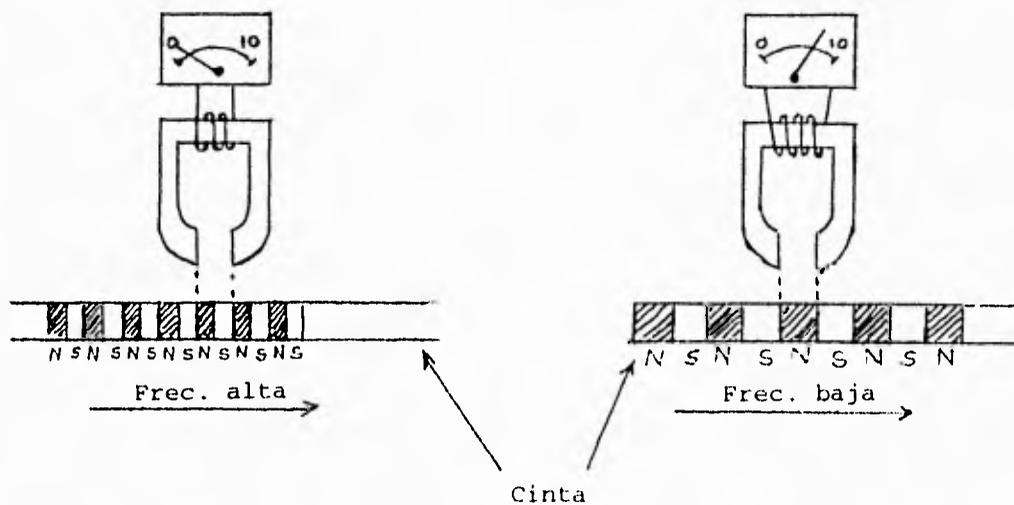


Fig. 1.17 Importancia de la longitud del entrehierro en la reproducción.

Se puede observar que cuando aparece un ciclo completo en el entrehierro, la magnetización es nula, y no se obtiene señal, ya que los dos imanes formados en la cinta inducen campos contrarios que se anulan entre sí. Por este motivo sería ideal que la anchura del entrehierro fuera inferior a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más alta grabada, así no tendríamos ningún efecto de anulación.

Una conclusión importante es que con altas velocidades se alcanzan a reproducir altas frecuencias.

En reproductores de cassette, se alcanzan a reproducir frecuencias de hasta 28 KHz con entrehierro de 2 micras.

A continuación se indican en forma resumida las características más importantes de cada tipo de cabeza, según se indican en el "Manual de Alta Fidelidad y Sonido Profesional".

- + Cabeza de grabación
  - . Entrehierro: 5 a 20 micras
  - . Bobina de baja impedancia
  - . Blindaje no tan crítico
- + Cabeza de reproducción
  - . Entrehierro: muy importante, de 2 a 5 micras
  - . Bobina de baja impedancia

- . Blindaje: muy eficaz contra intensidades de campo parásitas
- + Cabeza mixta de grabación - reproducción
  - . Debe combinar las características antes mencionadas
- + 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.

Al igual que en todo circuito magnético, las cabezas de grabación y reproducción también tienen un modelo físico que representa sus propiedades. En la figura 1.18 "Modelo Físico de la Cabeza", se dan los modelos físicos para reproducción y grabación.

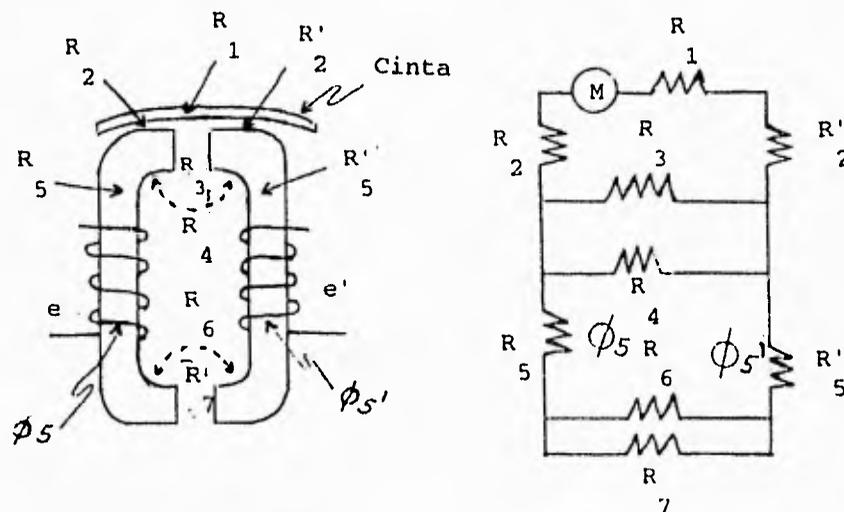


Fig. 1.18a Reproducción

Donde en la fig. 1.18a:

$M$  = Fuerza magnetomotriz.

$R_5$  y  $R'_5$  = Reluctancias del material de la cabeza.

$R_3$  y  $R_7$  = Reluctancias de los entrehierros.

$R_4$  y  $R_6$  = Reluctancias de flujo de fuga.

$R_2$  y  $R'_2$  = Reluctancias del entrehierro producido en el contacto físico cinta - cabeza.

$R_1$  = Reluctancia de la cinta.

$\phi_5$  y  $\phi'_5$  = Flujo en las bobinas.

$e$  y  $e'$  = Voltajes inducidos en las bobinas.

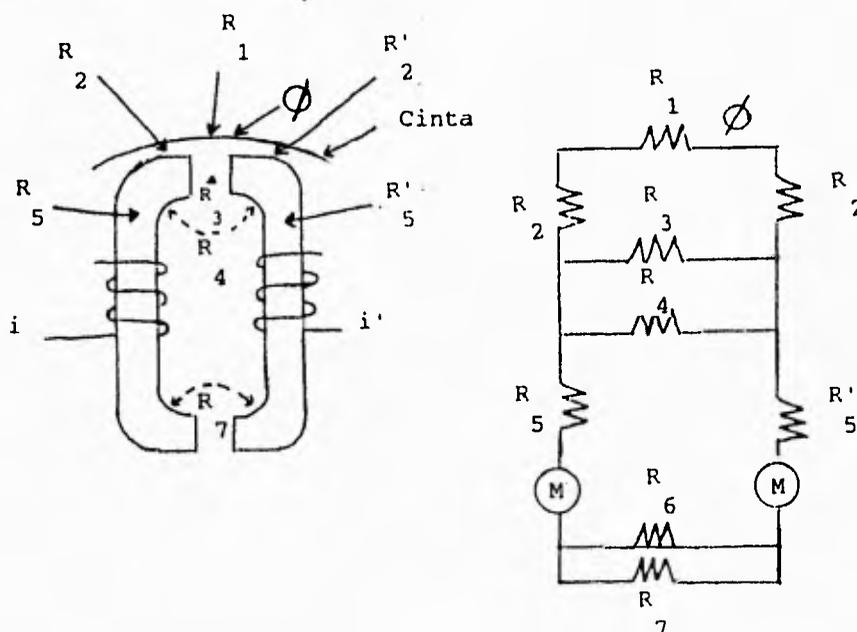


Fig. 1.18b Grabación

Para la Fig. 1.18b:

$M$  y  $M'$  = Fuerzas magnetomotrices desarrolladas por las corrientes de las dos bobinas.

$R_5$  y  $R'_5$  = Reluctancias del material magnético.

$R_3$  y  $R_7$  = Reluctancias de los entrehierros.

$R_4$  y  $R_6$  = Reluctancias de fuga.

$R_1$  = Reluctancia de la cinta.

$\Phi$  = Flujo a través de la cinta.

$i$  e  $i'$  = Corrientes producidas en las bobinas.

Nota:  $M = 4 Ni$ ;  $N$  = Número de vueltas.

Los modelos mencionados, ayudan a comprender sus no idealidades, como por ejemplo las reluctancias provocadas por el contacto imperfecto entre la cinta y la cabeza.

Este tipo de detalles, son los que influyen enormemente en el diseño mecánico, tanto de la cabeza, como de la cinta, sí como también de los mecanismos de arrastre.

## 1.8 CARACTERISTICAS DE LAS CINTAS

Las cintas empleadas en los magnetófonos deben tener buenas propiedades tanto magnéticas como mecánicas.

Antiguamente, el medio de grabación era alambre de hierro o cinta de acero, pero finalmente fueron sustituidos por la cinta de plástico con capa de material magnético.

La cinta magnética empleada en la grabación y reproducción de señales de audio consiste en una base plástica con una capa de óxido magnético. Obsérvese la figura 1.19.

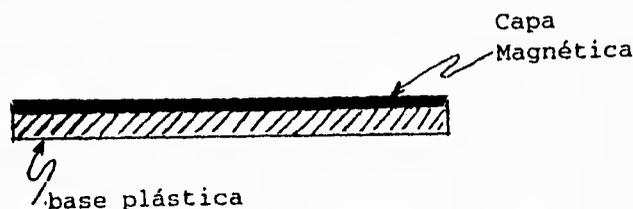


Fig. 1.19 Sección de una cinta

La base de cloropolivinilo o celulosa usada para cinta magnética tiene un espesor aproximado de 0.0005 a 0.0015 pulgadas.

La capa magnética se aplica sobre la base plástica con las partículas magnéticas suspendidas en aire líquido. La capa magnética tiene un espesor de 0.01 a 0.002 centímetros.

Por comodidad se repetirá la característica inducción-campo (B-H, respectivamente de la capa magnética en la figura 1.20.

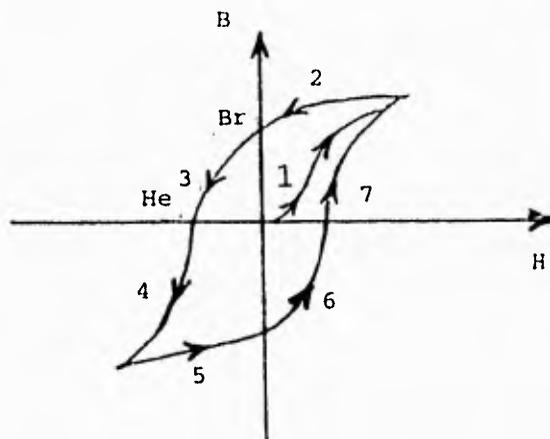


Fig. 1.20 Característica típica del óxido de hierro de la capa magnética.

Las flechas y los números indican la secuencia de la característica

B-H (histéresis) H = fuerza magnética (campo), B = inducción magnética. He = coercitividad, Br = Retentividad

H es el campo o fuerza magnética en Oerstedes, y B es la inducción en Gauss. La retentividad Br, es del orden de 700 a 1600 Gauss. La coercitividad  $J_c$ , es del orden de 250 a 500 Oerstedes.

El ancho total de la cinta puede ser empleado en una sola grabación, en cuyo caso diremos que contiene una sola pista, o en varias bandas longitudinales correspondiéndose cada una de ellas con una determinada pista (véase la figura 1.21). El caso más general es el de la cinta de cassette que con una anchura normalizada de 3.8 mm se

emplea en los equipos estereofónicos con cuatro pistas, dos superiores y dos inferiores, para ser grabadas o leídas las primeras en un sentido de avance y las segundas en el contrario, después de invertir el cassette, al final de su recorrido.

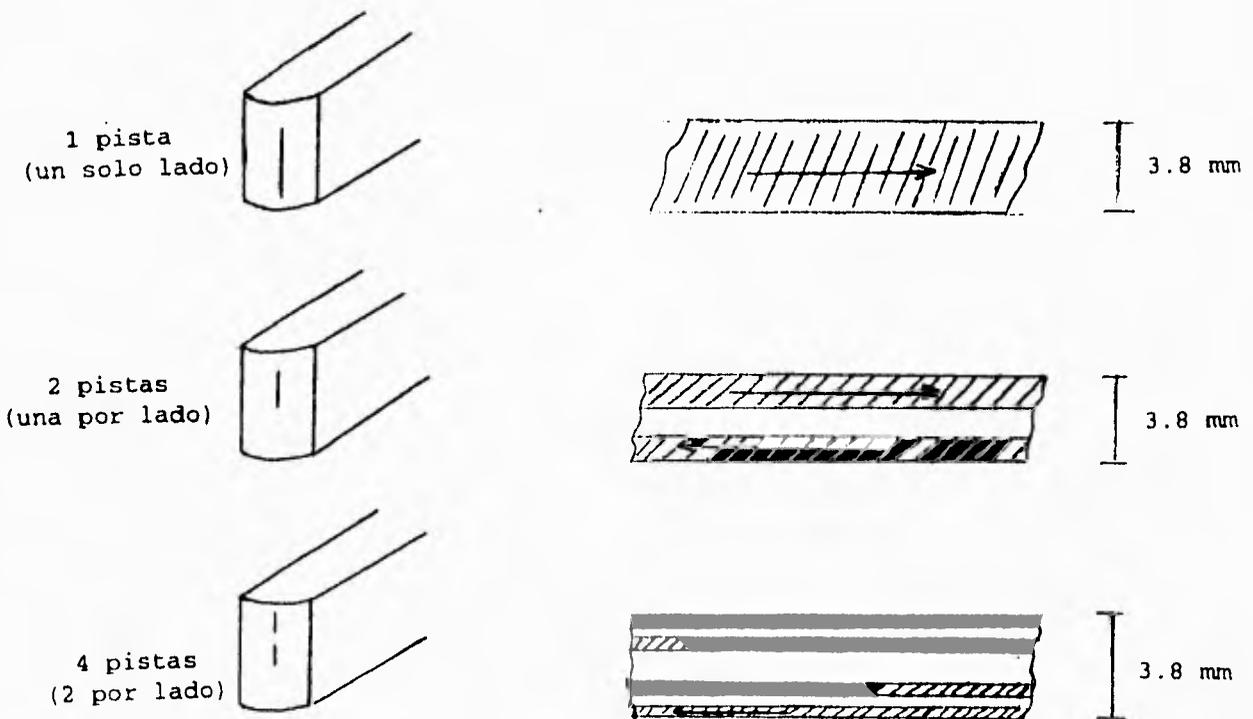


Fig. 1.21 Empleo de la cinta de cassette.

Una cinta magnética por lo general tiene la capa magnética de óxido de hierro.

Para la obtención de este material se parte del sulfato u oxalato de hierro y mediante procesos químicos se logran cristales de tipo cúbico o en forma de aguja.

Estos cristales deben de quedar en la cinta en una posición preferencial para optimizar su magnetización. Esto se logra aplicando un campo magnético en el momento de adherir la capa magnética sobre la base plástica.

Dentro de las características magnéticas que debe reunir una cinta se ennumeran las siguientes:

- Gran Remanencia: Se traduce en sensibilidad.
- Gran Coercitividad: Indica la capacidad de evitar que se desmagnetice la cinta especialmente en cortas longitudes de onda.
- Sensibilidad de salida uniforme: Van en proporción del espesor de la capa magnética.
- Ausencia de caídas instantáneas del nivel de slaida (Drop-outs). Se presentan por dos causas:
  - a) Por concentración insuficiente o ausencia total de material magnético en un determinado punto de la cinta.
  - b) Presencia de una partícula de polvo.
- Mínimo ruido de fondo: Producido por el reparto irregular de

los cristales magnéticos, nunca se llega a eliminar pero sí a limitar.

- Mínimo efecto de copia: Se denomina efecto de copia al fenómeno por el cual la información grabada y situada en una determinada espira de la bobina de cinta se traspasa a la espira más próxima. El efecto de este fenómeno produce un eco bastante molesto.

### 1.9 DIAGRAMAS A BLOQUES

Se ha venido hablando de que un magnetófono puede no sólo reproducir señales de audio sino también grabarlas. De aquí se desprende que un equipo de estos está formado por dos partes fundamentales que se conmutan mediante algún interruptor de tal manera que se pueda ya sea grabar o reproducir.

Comenzaremos por la parte de grabación, ya que antes de reproducir hay que tener algo grabado.

Los circuitos correspondientes a la grabación contienen tres etapas básicas e imprescindibles que son:

- Circuito ecualizador.
- Circuito amplificador.

- Oscilador de borrado y de premagnetización (BIAS), ésto se indica en la figura 1.22.

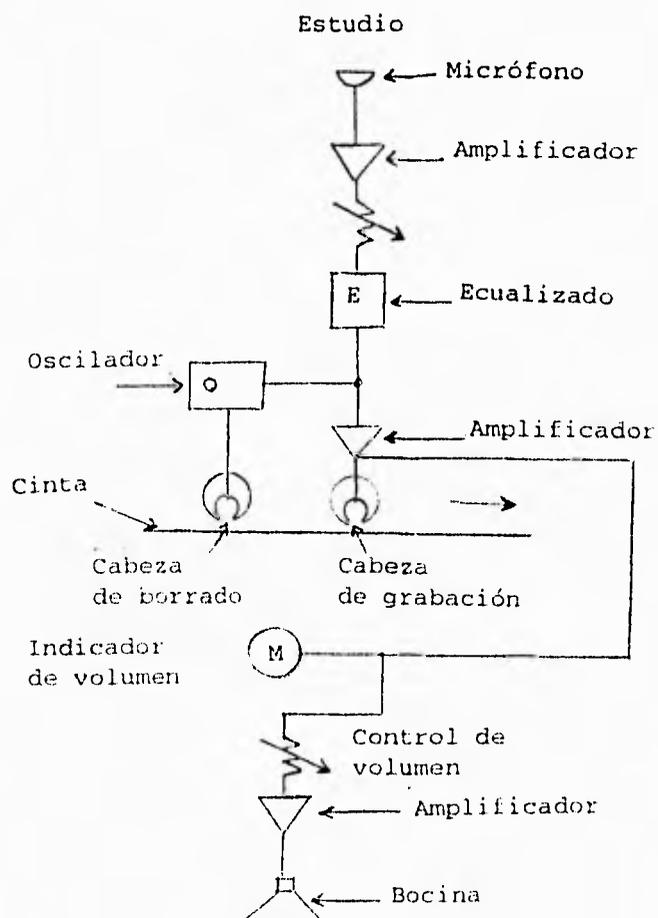


Fig. 1.22 Diagrama a bloques del circuito grabador

En el caso de la reproducción, se toma la señal de la cabeza y se aplica a un amplificador de voltaje. Después, la señal pasa por un

ecualizador y se amplifica para ser reproducida en la bocina como se puede observar en la figura 1.23.

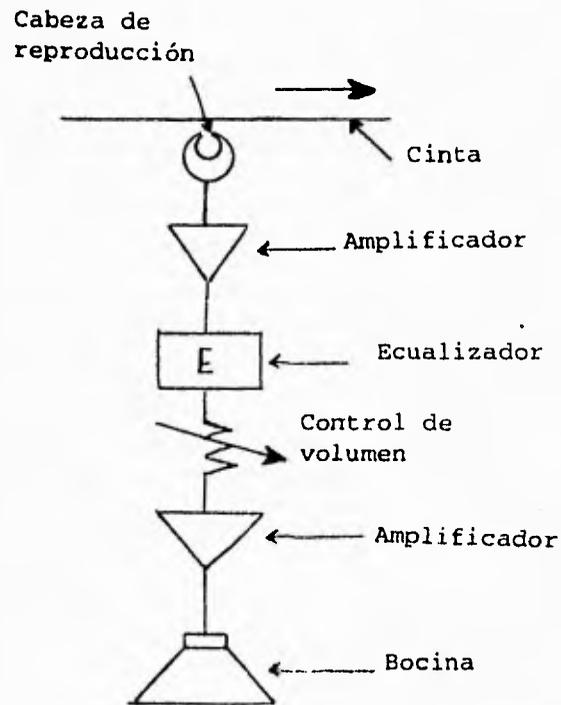


Fig. 1.23 Diagrama a bloques del circuito reproductor

Aquí hay que aclarar que se muestran sistemas monoaurales, sin embargo en el caso de un sistema estereofónico, cuadrafónico o de "n" canales, se utilizan "n" sistemas gemelos funcionando simultáneamente, pero un sólo oscilador se utiliza para todos los canales.

Los circuitos de media y alta calidad tienen unos circuitos adicionales que tienen como misión la de atenuar al máximo los ruidos inherentes a la cinta, los cuales son tanto más elevados cuanto más baja sea la velocidad de paso ante las cabezas. En consecuencia aquellos equipos que trabajen con bajas velocidades son los más afectados.

Se han inventado diversos procedimientos encaminados a minimizar el ruido como son:

**DOLBY, DNL, DBX, ANRS, HIGH COM, etc.**

El más común es el sistema DOLBY como el de la figura 1.24, del cual todavía hay más tipos, pero esencialmente consiste en analizar continuamente el nivel de señal que se va a grabar. Si la señal es fuerte, no actúa, pero si ésta alcanza valores por debajo de un cierto umbral, serán amplificadas mucho más con objeto de que puedan seguir teniendo un nivel muy superior al ruido de fondo. Durante la reproducción actúa en sentido contrario, restituyendo los valores originales para que el resultado final no presente distorsión.

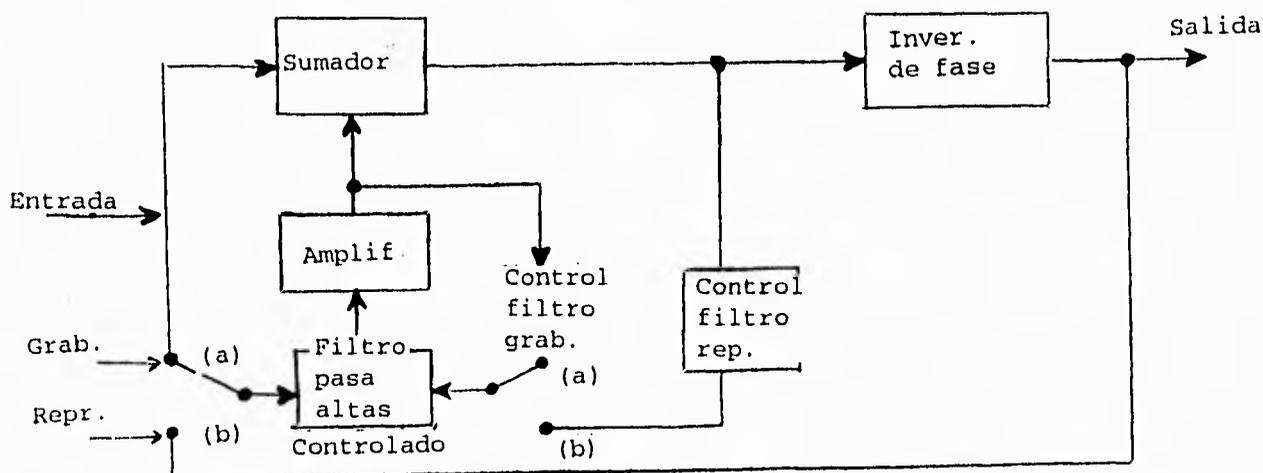


Fig. 1.24 Diagrama a bloques del sistema Dolby.

a) Funcionamiento en grabación

b) Reproducción.

### 1.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS MECANISMOS DE ARRASTRE DE LA CINTA

El mecanismo de arrastre de la cinta magnética puede variar de magnetófono a magnetófono, pero sea cual sea, debe de tener un mínimo de características para reproducir y grabar correctamente.

Primeramente, debe de mantener una velocidad de avance de la cinta, ya que de no ser así, podría producir un fenómeno llamado "lloro y deriva" (en inglés Wow y Flutter).

Un sistema usado en grabación y reproducción de la cinta magnética se muestra en la figura 1.25.

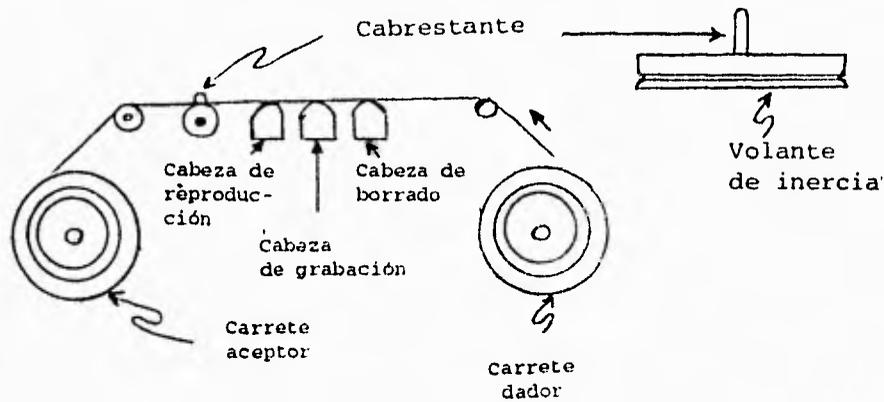


Fig. 1.25 Sistema de arrastre de la cinta

Todo sistema de cinta magnetofónica consta de un carrete dador y un carrete receptor (Pay off y Take up reel) y de un cabrestante (Capstan).

El cabrestante está acoplado mecánicamente con un volante de gran inercia rotacional para proveer una velocidad angular relativamente constante.

Una rueda de goma empuja a la cinta sobre el cabrestante para asegurar un buen contacto de la cinta con el cabrestante.

Un detalle importante de notar es el hecho de que el carrete receptor de cinta no jala a la cinta sino que más bien enrolla la cinta dada por el cabrestante.

Al enrollarla debe de hacerlo a una tensión constante. Para lograr esto, hay que tomar en cuenta lo siguiente:

Los carretes soporte de la cinta también están acoplados al motor. El aceptador para recoger la cinta que le envía el cabrestante y el dador con objeto de producir el efecto de frenado necesario para que la cinta mantenga a una cierta tensión. La fuerza de frenado no puede ser constante, puesto que aparecería una tensión mecánica variable en la cinta, al disminuir el diámetro de ésta, por lo tanto, será necesario que la fuerza varíe de acuerdo a la cantidad de cinta contenida en el carrete.

Esto se resuelve con sistema de freno o embrague controlados.

También se utiliza un sistema de embrague en el carrete aceptador para que la cinta se enrolle a una determinada tensión.

Hay muchos mecanismos de embrague controlados, pero para dar a comprender el funcionamiento de éstos, daremos un ejemplo de embrague clásico en magnetófonos de carrete abierto en disposición horizontal. Estamos hablando del frenado por gravedad, como el de la figura 1.26.

Al enrollarla debe de hacerlo a una tensión constante. Para lograr esto, hay que tomar en cuenta lo siguiente:

Los carretes soporte de la cinta también están acoplados al motor. El aceptador para recoger la cinta que le envía el cabrestante y el dador con objeto de producir el efecto de frenado necesario para que la cinta mantenga a una cierta tensión. La fuerza de frenado no puede ser constante, puesto que aparecería una tensión mecánica variable en la cinta, al disminuir el diámetro de ésta, por lo tanto, será necesario que la fuerza varíe de acuerdo a la cantidad de cinta contenida en el carrete.

Esto se resuelve con sistema de freno o embrague controlados.

También se utiliza un sistema de embrague en el carrete aceptador para que la cinta se enrolle a una determinada tensión.

Hay muchos mecanismos de embrague controlados, pero para dar a comprender el funcionamiento de éstos, daremos un ejemplo de embrague clásico en magnetófonos de carrete abierto en disposición horizontal. Estamos hablando del frenado por gravedad, como el de la figura 1.26.

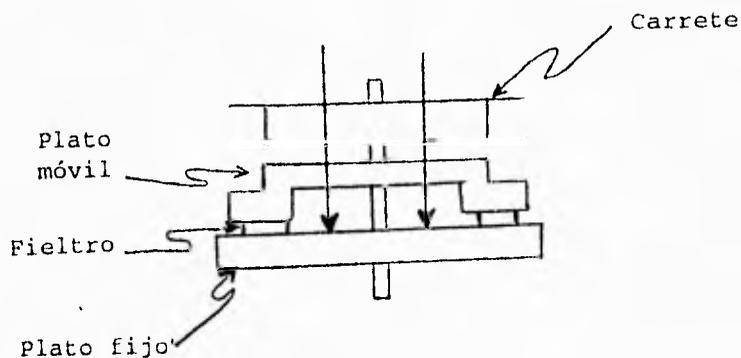


Fig. 1.26 Sistema de embrague (Clutch) para embobinar la cinta

En este sistema el plato que contiene el carrete dador, se encuentra sobre un plato fijo y separado de él por un aro de fieltro, de manera que cuando el plato gira aparece una cierta fricción con dicho anillo que dependerá del peso del carrete y, por lo tanto, de la cantidad de cinta que contenga. A medida que disminuye el peso del carrete, disminuye la acción de frenado, obteniéndose el efecto deseado. Este sistema se emplea prácticamente en todos los magnetófonos a cassette o de carrete abierto.

Otras funciones requeridas en el mecanismo del magnetófono son:

- Avance de la cinta a alta velocidad (FFWWD)
- Retroceso de la cinta a alta velocidad (FREW)
- Paro automático

Para estas funciones se llegan a utilizar hasta tres motores, pero en equipos de baja y mediana sofisticación se utiliza un solo motor para todas las funciones.

Hasta aquí he descrito de manera introductoria el funcionamiento clásico de las máquinas reproductoras y grabadoras de sonido. Sin embargo no he hablado del azimut.

El azimut se describirá en el siguiente capítulo encaminado al lector hacia el objetivo que persigue este trabajo.

## 2. ¿QUE ES EL ERROR DE AZIMUT? DESCRIPCION DE DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA CORREGIR SU DESAJUSTE

Azimet es un término utilizado originalmente en astronomía. Sin embargo en reproducción magnética se define de la siguiente manera.

"Azimet es el ángulo formado por la línea axial del entrehierro y la perpendicular a la dirección de avance de la cinta".

La figura 2.1 indica gráficamente la definición anterior.

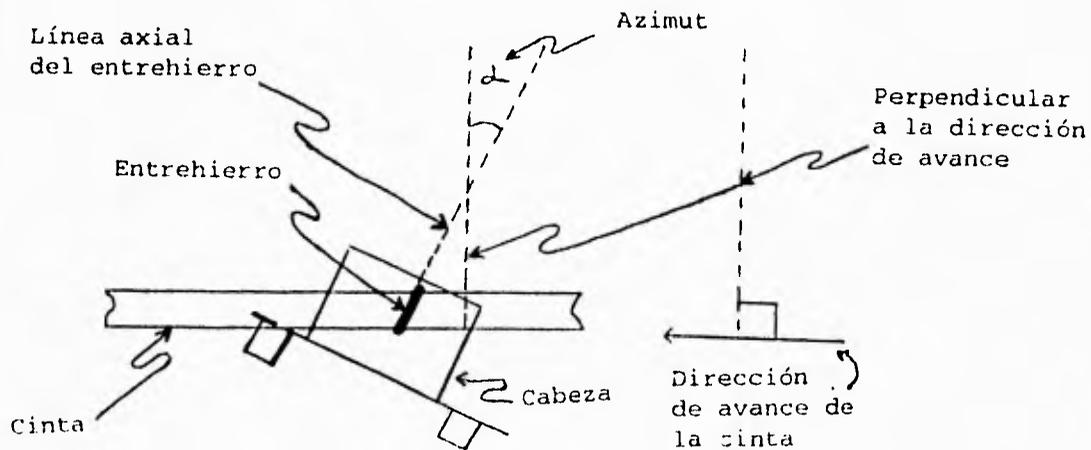


Fig. 2.1 Definición de Azimet

El caso ideal es que el azimut  $\alpha$  sea igual a cero grados, es decir, que el entrehierro sea paralelo a la perpendicular a la dirección de avance de la cinta, sin embargo como se verá más adelante, existen variaciones del orden de las unidades de minuto que hacen que se pierda nitidez en el sonido.

Estas variaciones se deben a factores tales como la diferencia de tamaño de un cassette a otro, la asimetría del mismo, el desajuste propio de la cabeza, etc.

Por otro lado, la posición o azimut con la que haya sido efectuada una grabación en un magnetófono, tiene mucho que ver con la posición de la cabeza con la que se reproduzca tal grabación en otro magnetófono, ya que si el primer magnetófono tenía un azimut por ejemplo de  $-3'$ , para que se escuche correctamente en el segundo magnetófono debe de ser ajustado a  $-3'$ . La razón de este efecto, así como el hecho de que se pierdan las altas frecuencias, se explicará más adelante en este mismo capítulo en la sección dedicada al método Nakamichi para la corrección automática del azimut (Auto azimut adjustment o A<sup>3</sup>) que no es exclusivo de Nakamichi, pero al menos según la revista francesa "Automobile", son los inventores de este sistema.

Para terminar este apartado se indicará cómo está montada una cabeza de grabación en una máquina de grabación-reproducción de cassettes típica.

Comúnmente la cabeza va montada al "piso" del compartimiento para cassettes con un tornillo, un soporte cilíndrico, un tornillo de ajuste y un resorte, como se indica en la figura 2.2.

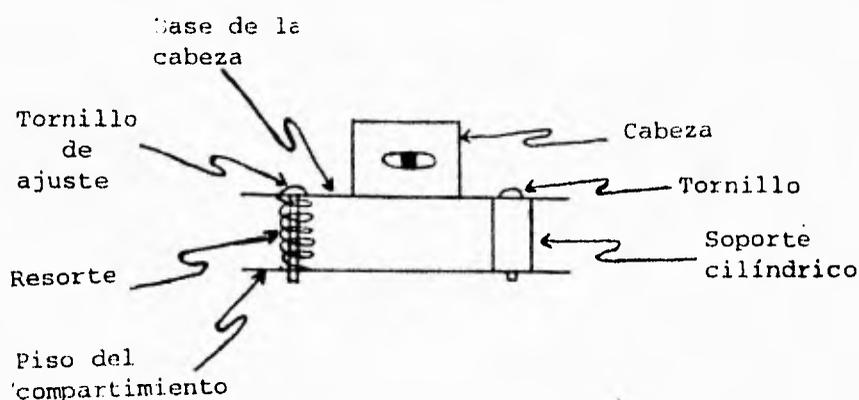


Fig. 2.2 Montaje típico de una cabeza de grabación

Como puede imaginarse, al mover el tornillo de ajuste se expande o se comprime el resorte, modificando a la vez el azimut.

Este tornillo de ajuste, se sella con un pegamento en la fábrica. Pues bien, la idea de esta tesis es acoplar mecánicamente este variador a una máquina inteligente que lo ajuste **para cada grabación** si se desea. Es decir, ahora ya no se fija en la fábrica, sino que el ajuste será dinámico.

Seguramente, existen muchísimas soluciones para resolver el problema de la desviación de azimut. En esta parte de la tesis, se esbozarán

posibles soluciones que considero muy significativas.

### 2.1 LA TECNICA EMPLEADA POR LA FIRMA NAKAMICHI

Nakamichi es una firma japonesa dedicada al diseño de equipos de audio de alta fidelidad. Esta firma a saber, fue la primera en introducir un corrector de azimut.

Como ya se sabe, en los reproductores de cintas convencionales, el azimut se ajustaba en la fábrica mediante un tornillo. Dicho tornillo se sellaba con un barniz, y ya no debía de moverse por el usuario.

Pues bien, Nakamichi le permitió al audiófilo exigente, el acceso al ajuste del azimut (desde luego que partimos del punto de que estamos hablando de un usuario que posee un oído educado y que distingue cuando existe desviación de azimut). De acuerdo a esto, existía entre todas las perillas, botones y demás controles del sonido del equipo, una perilla de corrección de azimut manual. Esto se ilustra en la figura 2.3.

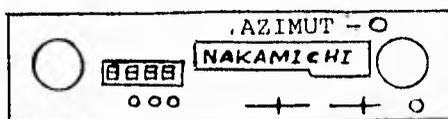


Fig. 2.3 Bosquejo de un autoestereo con perilla de control de azimut

Posteriormente, Nakamichi introdujo un sistema automático que no requería del usuario para llevar a cabo este ajuste. El método que emplean es el que capta nuestro interés en este momento y será explicado a continuación.

El "método Nakamichi" sensa un defasamiento que es la **causa** de la pérdida de brillantez (o de agudos), en el sonido.

Primero se explicará por qué se pierden los agudos al tener una desviación de azimut.

Suponga que se pudiera grabar una señal cuadrada en una cinta de audio (lo cual es imposible, pero nos sirve para ilustrar la explicación). Obsérvese la figura 2.4.

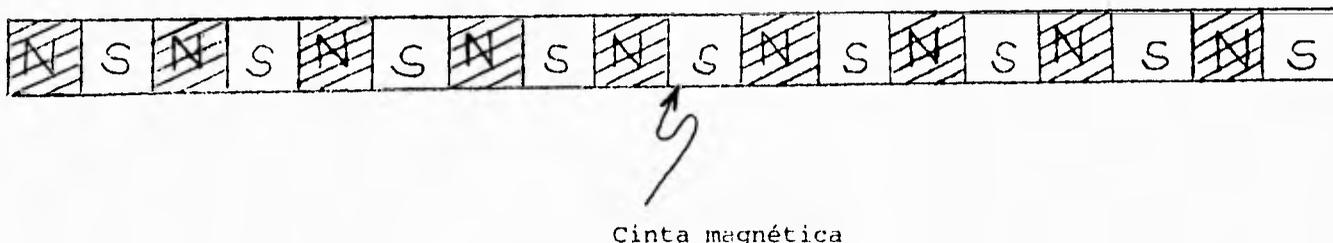


Fig. 2.4 Manera como se grabaría una señal cuadrada en una cinta

Si captamos con una cabeza lectora la información y suponiendo que el azimut es de cero grados para dicha grabación y si pudiéramos "ver" lo que lee la cabeza, leeríamos lo que se ve en la figura 2.5.

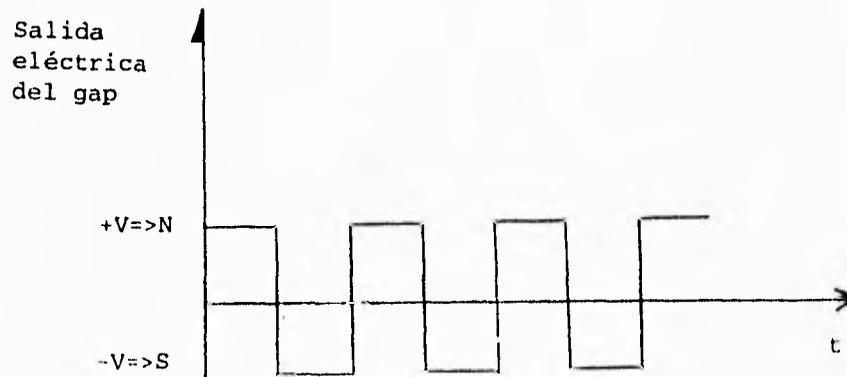
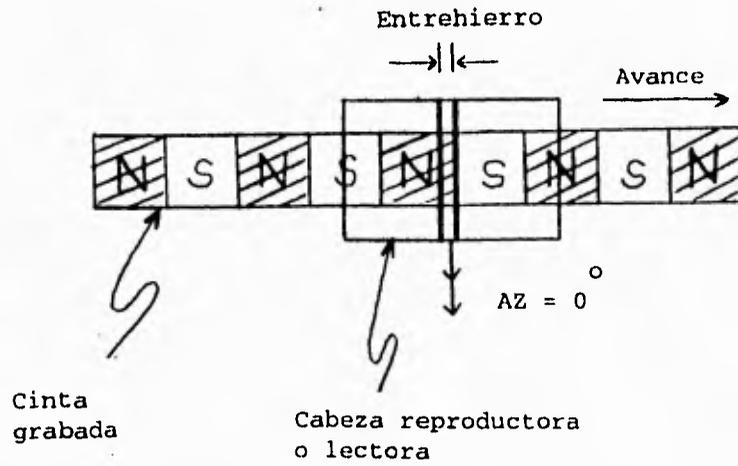


Fig. 2.5 Forma como leería una cabeza magnética una señal cuadrada

Si desajustáramos el azimut de la cabeza reproductora, veríamos que se anulan algunas señales. Véase la figura 2.6.

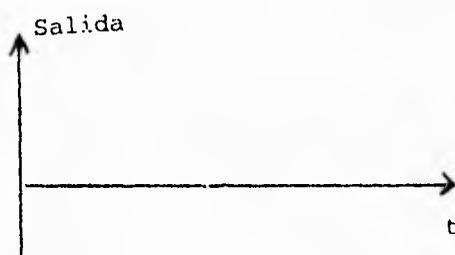
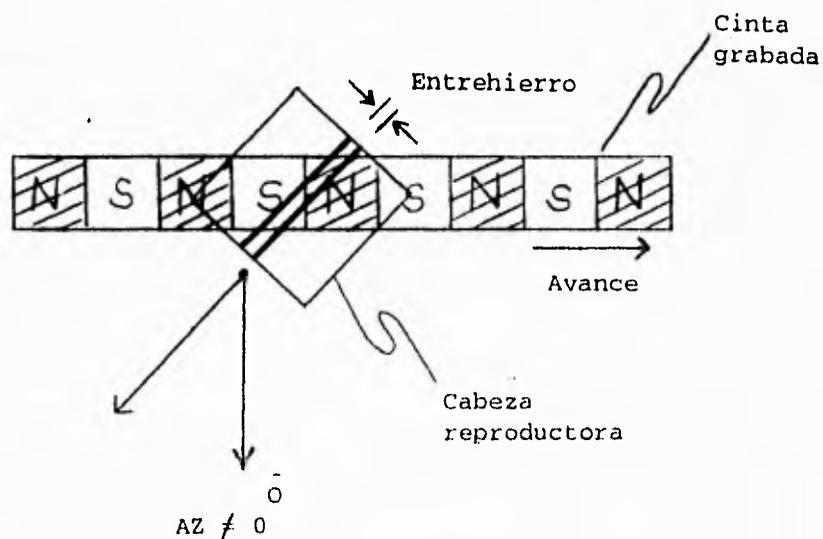


Fig. 2.6 Anulación de la señal registrada por causa del azimut "desviado"

Como podemos observar en la figura 2.6, hay momentos en los que el entrehierro, "ve" un Norte y un Sur a la vez, y el resultado, magnéticamente hablando, es una salida cero, ya que se anulan ambas polaridades.

Si razonamos un poco, nos daremos cuenta de que las frecuencias bajas casi no se afectan, lo que no sucede con las frecuencias altas, que se ven anuladas, cuando hay desviación de azimut. Véase la figura 2.7.

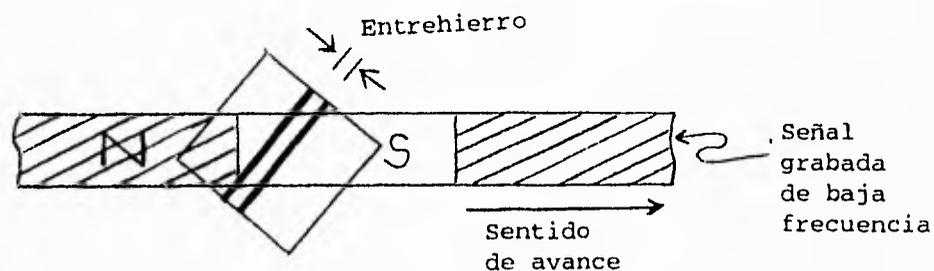


Fig. 2.7 Las bajas frecuencias no se anulan

Esto mismo ocurre cuando el azimut del reproductor está teóricamente bien ajustado, pero la cinta se grabó con un azimut desviado. Véase la figura 2.8.

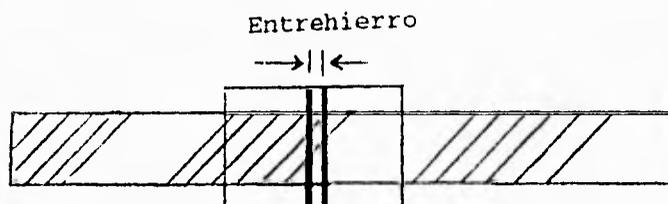


Fig. 2.8 Aunque el azimut teóricamente es  $0^\circ$ , se anulan las altas frecuencias porque la señal fue grabada con otro valor de azimut

En este caso hay que "desviar" aparentemente el azimut para que la reproducción sea óptima.

Para sentir esto, Nakamichi propone una cabeza de cuatro canales, dos semipistas para el canal Izquierdo y dos para el Derecho (hablando de una cabeza estereofónica).

Analicemos lo que ocurre en una grabación monoaural captada con dos semipistas (lo que equivale a un canal de una reproducción estereofónica Nakamichi), como se puede apreciar en la figura 2.9.

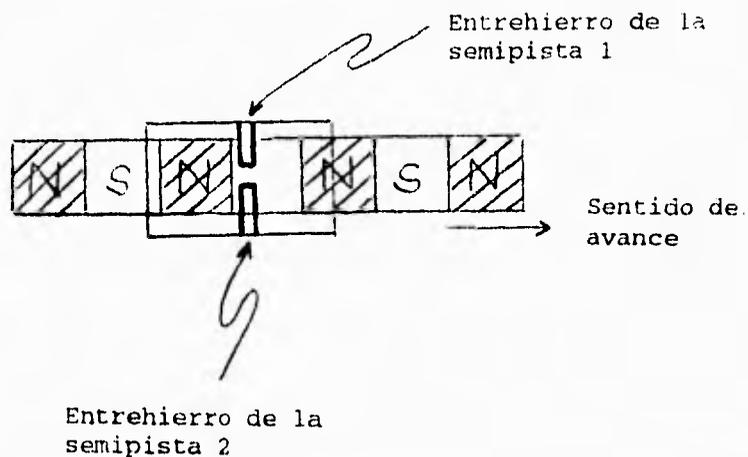


Fig. 2.9 Detección de la señal con dos "semipistas"

Si el azimut de la cabeza reproductora coincide con el de la grabación, las respuestas de cada semipista quedan en fase. Véase la siguiente figura 2.10.

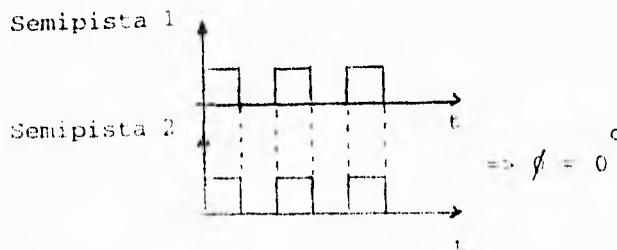


Fig. 2.10 Gráficas obtenidas de una cabeza cuyo azimut coincide con el de la señal

Esto sería lo correcto, porque las mismas señales entran al mismo tiempo a las dos semipistas al tomar en cuenta el sentido en el que avanza la cinta. Ahora bien, ¿qué ocurre cuando las semipistas y la grabación no son tienen el mismo azimut? Para responder esta pregunta, nos apoyaremos en la figura 2.11.

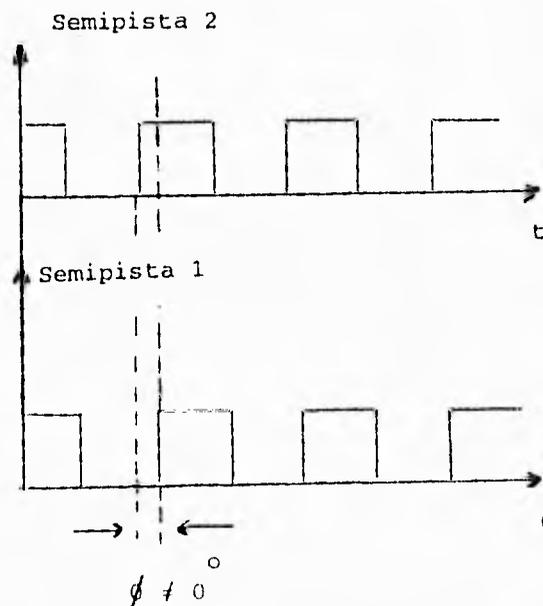
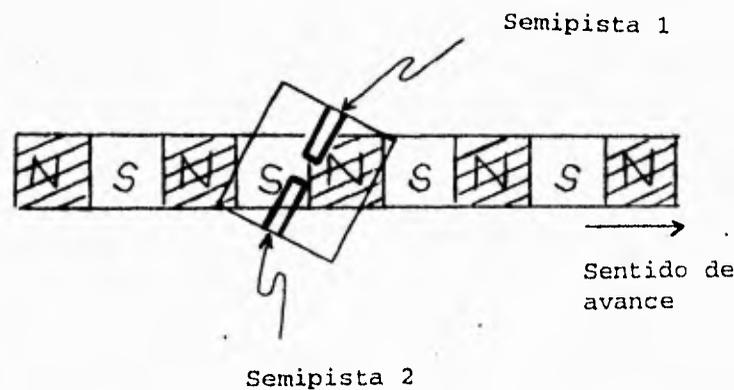


Fig. 2.11 Defasamiento ocasionado por azimut desviado

Ocurre un defasamiento entre la señal de la semipista 1 y la semipista 2. Según la figura anterior y tomando en cuenta el sentido en que avanza la cinta, se puede ver que la señal llega primero a la semipista 2 y después a la semipista 1.

¡Este defasamiento es lo que sirve como parámetro para llevar a cabo el ajuste de azimut en el sistema Nakamichi! aunque claro, que los ejemplos ilustrativos vistos hasta ahora, han sido con reproductores monoaurales, todo se extiende para el caso de reproductores estereofónicos.

Una vez estudiado lo anterior, podemos proceder a mostrar el diagrama a bloques del sistema Nakamichi, que se ilustra en la figura 2.12.

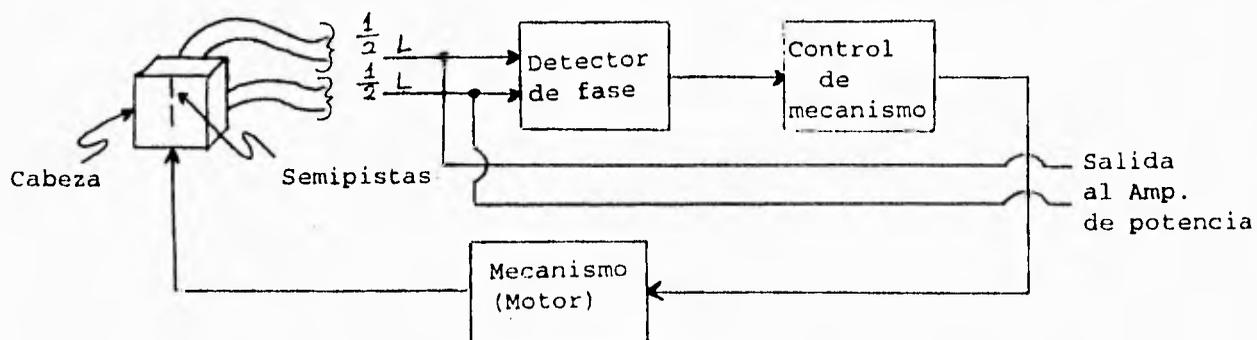


Fig. 2.12 Diagrama a bloques del sistema Nakamichi para la corrección automática del azimut

Como se puede ver, el detector de fase es el corazón de este sistema.

De la cabeza salen las señales de la semipista 1 y de la semipista 2, éstas entran al detector de fase, que dará un voltaje diferente a la salida, según sea la fase de ambas señales.

El control del mecanismo sensa dicho voltaje y moverá el mecanismo hasta que la fase, si bien nunca llega a ser cero, sí de un valor mínimo ( $\phi \rightarrow 0$ ).

Este método tiene la desventaja de que requiere una cabeza de cuatro semipistas, y ha sido patentada por Nakamichi. Además, se entiende que una cabeza reproductora de este tipo es muy cara.

Una forma de aplicar este principio de una manera barata es hacerlo para un equipo monoaural, es decir, que sólo sirve para grabaciones monoaurales y que la reproducción se hiciera con una cabeza estereofónica. De esta manera, las dos pistas de la cabeza estereofónica harían las veces de las dos semipistas reproductoras de un canal de una cabeza Nakamichi.

Desafortunadamente, los equipos monoaurales, ya no son tan comunes como lo eran antiguamente.

## 2.2 APLICACION DE LA TECNICA EMPLEANDO UNA CABEZA CONVENCIONAL.

La solución que se mostrará a continuación intenta aplicar la solución de Nakamichi, pero trata de evitar el uso de una cabeza especial.

En toda grabación estereofónica existen señales que son exclusivas del canal izquierdo y exclusivas del canal derecho. Estas señales las denominaremos  $f_{ed}(t)$  (función exclusiva derecha) y  $f_{ei}(t)$  (función exclusiva izquierda), pero también existen señales que son comunes a los dos canales. A estas señales les llamaremos  $f_c(t)$  (funciones comunes).

Nota: Lo que se explicará a continuación es meramente teórico y no ha sido realizado, sin embargo creo que podría llevarse a cabo.

De lo anterior, se puede decir que:

$$f_i(t) = f_{ei}(t) + f_c(t) \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

y que

$$f_d(t) = f_{ed}(t) + f_c(t) \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

donde  $f_i(t)$  es la señal reproducida total del canal izquierdo y  $f_d(t)$  es la señal reproducida total del canal derecho.

Ahora bien, supongamos que existiera un operador matemático que nos permitiera extraer  $f_c(t)$ , esto es:

Sea el operador  $\mathcal{A}(\cdot)$  tal que:

$$\mathcal{A}(f_i(t), f_d(t)) = f_c(t) \dots \dots \dots (2.3)$$

Características que debe de tener este operador:

a) Si  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$  son totalmente diferentes, entonces:

$$\mathcal{A}(f_i(t), f_d(t)) = 0 \dots \dots \dots (2.4)$$

Porque  $f_i(t) = f_{ei}(t) + 0 \dots \dots \dots (2.5)$

$$f_d(t) = f_{ed}(t) + 0 \dots \dots \dots (2.6)$$

b) Si aplicamos el operador  $\mathcal{A}(\cdot)$  a una misma señal entonces:

$$\mathcal{A}(f_1(t), f_1(t)) = f_1(t) \dots \dots \dots (2.7)$$

ya que:

$$f_1(t) = f_c(t) \dots \dots \dots (2.8)$$

es decir, no existen señales diferentes y todo  $f_1(t)$  es una señal común.

c) Si  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$  son tales que:

$$f_i(t) = f_{ei}(t) + f_c(t)$$

$$f_d(t + \lambda) = f_{ed}(t + \lambda) + f_c(t + \lambda); \quad \lambda \neq 0$$

es decir, existe un defasamiento entonces

$$\int (f_i(t), f_d(t + \lambda)) = 0 \quad \lambda \neq 0$$

ya que a pesar de que existe una  $f_c(t)$  diferente de cero, por el hecho de estar fuera de fase se puede decir que punto a punto en el tiempo, ambas señales son diferentes.

¿Por qué queremos encontrar ese operador  $\int (\cdot)$  ?

Porque la señal  $f_c$  puede ser el indicador para saber si el azimut es correcto; porque si la señal  $f_c$  del canal izquierdo está en fase con la del canal derecho, el resultado del operador es diferente de cero y es máximo, y en ese punto, se puede decir que la cabeza ha quedado corregida.

Lo más interesante de esto, es que no se requeriría una cabeza Nakamichi de cuatro semipistas sino que se podría hacer la corrección con una cabeza estereofónica convencional.

De esta manera, un diagrama a bloques que puede resolver nuestro problema en la figura 2.13.

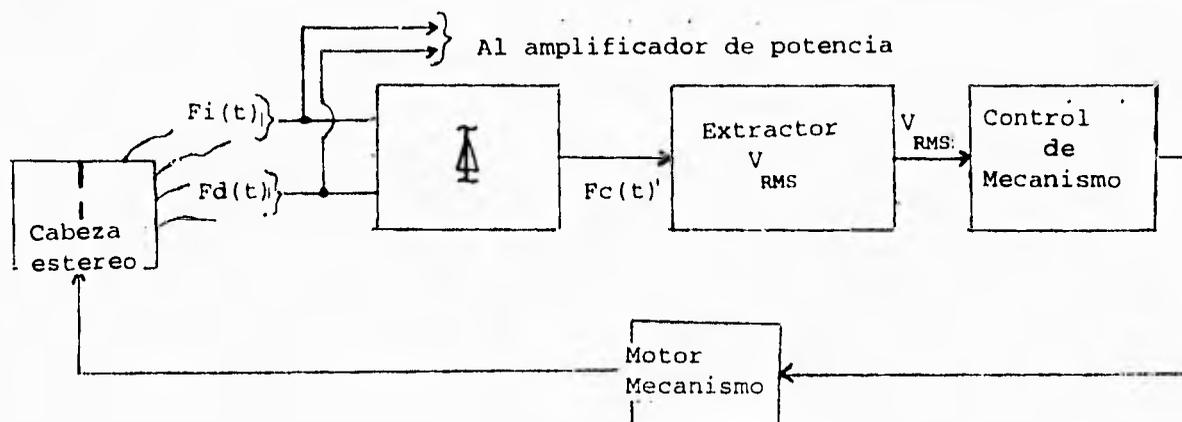


Fig. 2.13 Diagrama a bloques que trata de llevar a cabo la realización del corrector automático de azimut sin el uso de una cabeza especial.

Explicación del diagrama a bloques:

La cabeza genera las señales  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$ , luego viene la etapa del operador  $\hat{A}(\cdot)$  que obtiene  $f_c(t)$  o sea una señal que forma la parte común de  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$ . Luego se obtiene un promedio que da un voltaje que varía según sea la amplitud de  $f_c(t)$ . Aquí hay que destacar lo siguiente.

Si el azimut de la grabación no coincide con el de los entrehierros

(Gaps) de las pistas, entonces  $f_c(t)$  será cero, porque  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$  serán punto a punto diferentes en el tiempo.

Supongamos que ahora movemos el azimut de la cabeza de un extremo a otro en busca del azimut correcto.

Teóricamente, según las características del operador que fijamos al principio,  $f_c(t)$  variaría en forma abrupta de cero a un valor cualquiera cuando el mecanismo hiciera que la cabeza tuviera el azimut correcto.

Esto se reflejaría en un cambio de estado a la salida del circuito que obtiene el  $V_{rms}$ . Pero esto sucedería siempre y cuando  $f_i(t)$  y  $f_d(t)$  tuvieran  $f_c(t) \neq 0$  (lo cual es una desventaja de este método).

Finalmente, el control del mecanismo movería el motor en función del cambio de estado que tuviera el extractor  $V_{rms}$  de  $f_c(t)$ , hasta que el promedio cuadrático de  $f_c(t)$  fuera lo más alto posible, o hasta que después de un cambio abrupto en  $V_{rms}$  de  $f_c(t)$  pasara de "0" a "1", ya que en ese momento se debería de desactivar el motor y dejarse en esa posición.

Si en un momento dado existiera un cambio abrupto en  $V_{rms}$  de  $f_c(t)$  de "1" a "0", en ese momento podrían haber ocurrido tres cosas:

- a) Que el azimut de la grabación se ha desviado.
- b) Que en ese momento se terminó la melodía que se estaba escuchando.
- c) Que por capricho de la naturaleza de la grabación,  $fc(t)$  haya sido igual a cero en un momento dado.

Para discriminar esto, el usuario debe tener un botón de inicio de búsqueda de azimut, en la inteligencia de que dicho usuario "entiende" lo que está escuchando.

Lo que faltaría para concluir la explicación de este método, sería la determinación del operador  $\Delta(\cdot)$ . En esta tesis no se obtendrá dicho operador (es un problema matemático), sin embargo indicaré cómo tal vez podría descubrirse.

Si por ejemplo restamos la señal  $fi(t) - fd(t)$  podríamos anular  $fc(t)$ , es decir:

$$fi(t) - fd(t) = fei(t) + fc(t) - fed(t) - fc(t)$$

$$fi(t) - fd(t) = fei(t) - fed(t)$$

Se puede decir que la anterior operación discrimina  $fc(t)$  porque la anula, pero lo que se quiere es  $fc(t)$  y no  $fei(t) - fed(t)$ , pero tal vez alguna operación aplicada a las señales  $fi(t)$  y  $fd(t)$ , y a la señal  $fei(t) - fed(t)$  nos podría permitir erradicar  $fc(t)$  y ese

conjunto de operaciones sería el operador  $\Delta$ .

### **2.3 CORRECCION DEL AZIMUT SENSANDO LA PERDIDA DE AGUDOS DE LA SEÑAL.**

Las técnicas descritas hasta ahora, están basadas en la **causa** que provoca la pérdida de fidelidad.

Ahora se explicará una técnica basada en el **efecto** provocado, es decir, la pérdida de agudos y que es la solución llevada a cabo en esta tesis.

¿Cómo se lleva a cabo la corrección manual? Bueno, primero se tiene una cinta grabada con un tono lo más puro posible a una frecuencia tan alta como el equipo sea capaz de reproducir y se varía el azimut hasta que el tono alcance la amplitud más alta posible. En ese punto se sella el tornillo de ajuste.

La realidad es que no se requiere tanta complicación para realizar el ajuste. Un buen técnico es capaz de llevar a cabo tal corrección utilizando como fuente de señal, una grabación rica en agudos (altas frecuencias), como instrumento de medición su propio oído y como actuador su mano y un desarmador. Tal ajuste puede llegar a tener una precisión de más o menos fracciones de minuto.

En esta parte, se debe recalcar que se desea tener un ajuste dinámico que varíe para cada grabación.

Ya sabemos que el ajuste de azimut se puede realizar con mucha precisión empleando nuestro sensor llamado oído. Pero ¿qué pasos realizamos mentalmente y a nivel actuador para hacer el ajuste?

Si logramos determinar dichos pasos entonces se podrá construir una máquina que haga lo mismo.

Después de meditarlo un poco, se llegará a la siguiente secuencia:

1. Escuchar el sonido inicial de la grabación.
2. Pregunta: ¿Será ese sonido el óptimo?
3. Para saberlo, se varía el azimut en un sentido un cierto "paso".
4. ¿Mejora? Si sí, regresar al paso 2.
5. En caso contrario, regresar el paso dado y dar otro paso en el sentido opuesto,
6. ¿Mejora? Si sí, dar otro paso en el sentido anterior, si no
7. Regresar al paso dado y salir de la rutina.

A nivel humano, es relativamente sencillo realizar tales pasos. Sin embargo hay que realizar algunas modificaciones para ir simplificando la solución a nivel máquina.

A continuación se dará otro algoritmo que lleva un enfoque más programable:

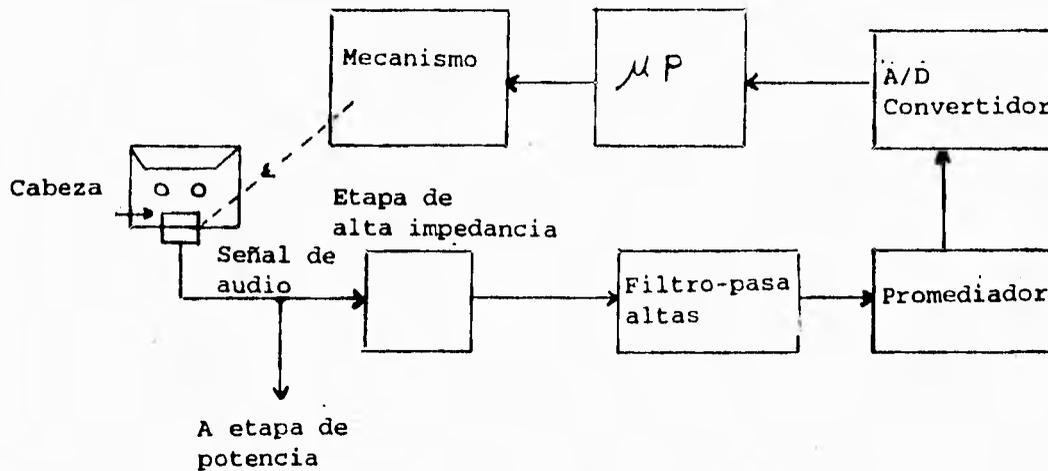
1. ¿Se desea ajustar el azimut? Si sí, continuar con la rutina, si no, regresar al paso 1.
2. Mover el azimut hasta la posición "uno".
3. Tomar muestras de la "fidelidad" en cada paso desde la posición "uno" hasta la posición "n".
4. Memorizar el número de posición en la que se obtuvo la mejor lectura y poner el azimut en tal posición.
5. Ir a paso 1.

Al ver este algoritmo simplificado, vemos la cantidad de problemas que hay que resolver para construir la máquina que se desea.

Primero que nada ¿cómo le decimos a una máquina que mida la cantidad de fidelidad de una grabación? Después, hay que tomar en cuenta que la música y/o la voz son totalmente aleatorias o bien, no siguen una regla fácilmente discriminable por una máquina.

También se presentarán problemas mecánicos, etc.

Se dará un adelanto de lo que se ve en el capítulo 4, que es un diagrama a bloques del sistema requerido y que se muestra en la figura 2.14.



**Fig. 2.14** Diagrama a bloques del corrector automático de azimut por sentido de Altas Frecuencias.

En el capítulo 4, se mostrará paso a paso el diseño de cada etapa, pero en este capítulo debo adelantar que las partes más importantes son el filtro pasa altas y el programa del microprocesador.

El filtro pasa altas junto con el promediador generan una variable que es "proporcional a la fidelidad" para cada paso del mecanismo. ¿Cómo se llegó a esos dos bloques que son de suma importancia? Esa respuesta es parte del capítulo 4, pero no era de extrañarse, ya que precisamente el error de azimut influye sobre la respuesta en altas frecuencias.

Hasta ahora, sólo se han descrito diferentes maneras de corregir en

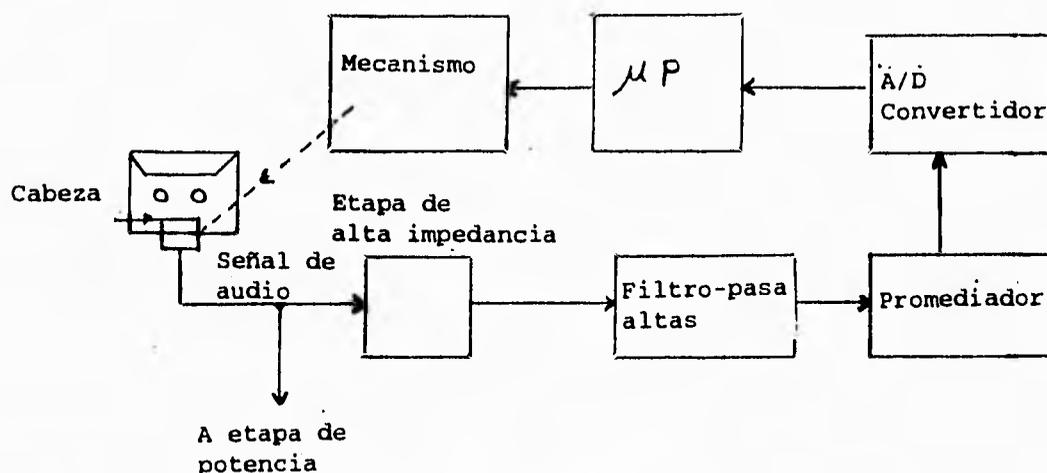


Fig. 2.14 Diagrama a bloques del corrector automático de azimut por sensado de Altas Frecuencias.

En el capítulo 4, se mostrará paso a paso el diseño de cada etapa, pero en este capítulo debo adelantar que las partes más importantes son el filtro pasa altas y el programa del microprocesador.

El filtro pasa altas junto con el promediador generan una variable que es "proporcional a la fidelidad" para cada paso del mecanismo. ¿Cómo se llegó a esos dos bloques que son de suma importancia? Esa respuesta es parte del capítulo 4, pero no era de extrañarse, ya que precisamente el error de azimut influye sobre la respuesta en altas frecuencias.

Hasta ahora, sólo se han descrito diferentes maneras de corregir en

forma automática el azimut pero ¿por qué se seleccionó la última opción? En el siguiente capítulo se describirán las inquietudes que condujeron a la realización de tal opción, así como la definición de las características y la filosofía del diseño del prototipo.

### **3. SELECCION DE UNA ALTERNATIVA Y DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL PROTOTIPO**

En el capítulo anterior se esbozaron tres posibles maneras de realizar en forma automática la corrección del azimut.

Una de las formas era más bien teórica y, por lo tanto, no se dedicará mayores observaciones a dicha posibilidad, pero existían dos posibles soluciones aparte, las cuales eran totalmente factibles. Estas posibles soluciones eran por una parte la aplicación del método Nakamichi y por otro lado la solución de la corrección de azimut mediante la detección de la pérdida de agudos.

#### **3.1 SELECCION DE UNA ALTERNATIVA**

De antemano se hace la observación de que se tomó la decisión de ajustar el azimut sensando la detección de la falta de agudos y a continuación se expresará la razón de dicha elección:

Al iniciar este trabajo se intuía que podría realizarse el ajuste por la pérdida de agudos, pero siempre existen factores que hay que conocer para saber si la idea es realmente adecuada. En este caso el principal factor que se pone en juego es el de la existencia del sistema Nakamichi. Después de conocer el funcionamiento de este

sistema, se observó de que es realmente excelente por lo siguiente:

- a) Es un sistema que puede rebasar la precisión del oído humano.
- b) Puede actuar durante todo el tiempo que se esté escuchando un cassette y, por lo tanto, no importa si un mismo cassette fue grabado en diferentes equipos.

A pesar de dichas ventajas si se interesa uno lo suficiente por construir algo diferente, se pueden encontrar algunas desventajas que son:

- A) Precio: con el dinero que se puede comprar un Deck Nakamichi, se puede adquirir un sistema completo de otra marca que posea no sólo el Deck, sino también el amplificador, el tornamesa de discos analógicos, el reproductor CD y el sintonizador, además de las bocinas.
- B) Usa una cabeza de reproducción especial que tiene cuatro semipistas y se requiere de una patente extranjera.

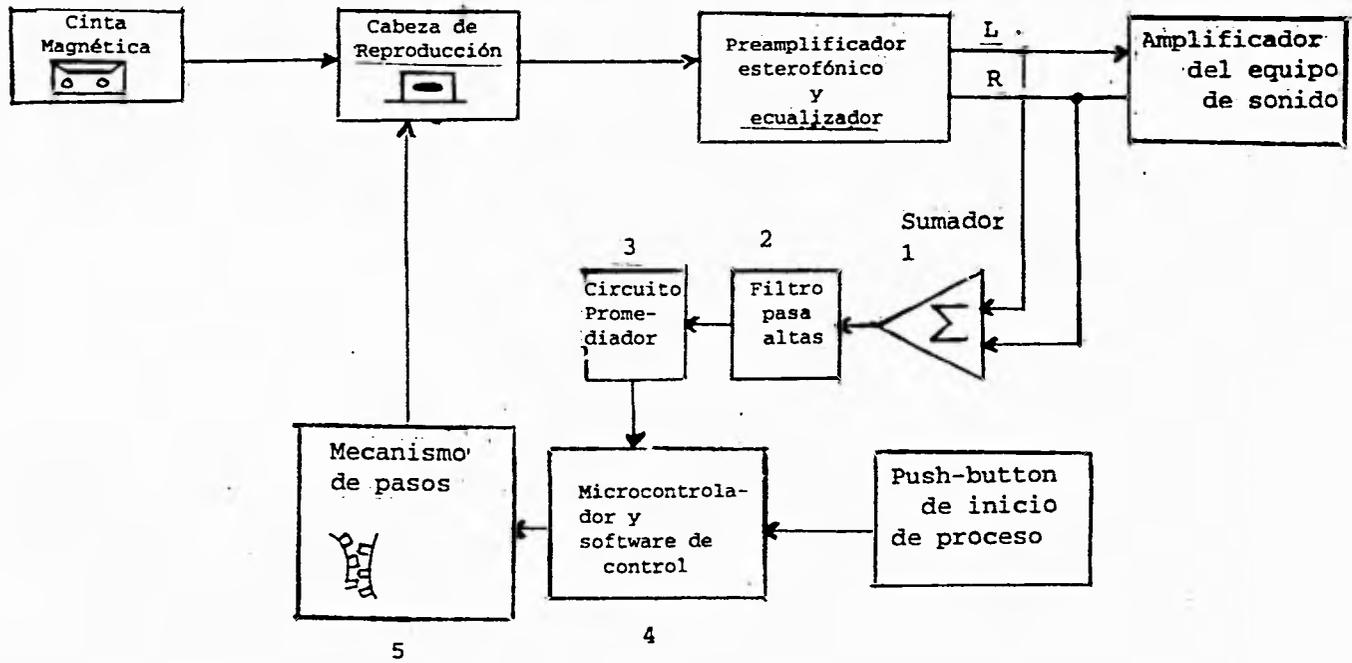
Posiblemente, el equipo que se piensa diseñar no tendrá las excelentes prestaciones del equipo Nakamichi, pero se pretende compensar (a costa de la precisión) las desventajas que se enunciaron, sobre todo por el hecho de que no se necesite usar una

cabeza con cuatro semipistas, lo cual simplificaría el mantenimiento del equipo (por el desgaste y sustitución de la cabeza de reproducción magnética). En el afán de evitar esa cabeza especial, se antoja aplicar el método puramente teórico que se definió en el capítulo anterior, el cual tal vez algún día pueda llevarse a cabo, pero por lo pronto el método de la detección de altas frecuencias (o agudos), es el que se puede desarrollar de manera más inmediata. Después, al concluir este trabajo, ya se verá si se logra que sea más barato o al menos si se puede estimar que tenga un costo menor (lo cual puede ser tema de otro trabajo completo), así como la determinación de sus ventajas y sus desventajas.

### 3.2 CONCEPCION DE LA IDEA BASICA

Como se mencionó en el capítulo anterior, se tratará de imitar lo que hace un técnico para corregir el azimut. Esto es, escuchar la grabación discriminando mentalmente el promedio de agudos y mover el azimut, hasta que el promedio de agudos sea óptimo. También se propuso un diagrama a bloques simplificado o inicial de lo que sería el sistema. Ahora se mostrará un diagrama a bloques completo de este sistema en la figura 3.1:

Fig. 3.1 Diagrama a bloques del corrector automático de azimut



Una clave importante para el diseño de este corrector, es el hecho de que el sistema puede actuar sólo al principio de la reproducción de la cinta, considerando que el resto de la grabación requiere del mismo azimut que se encontró en los primeros segundos.

En la figura 3.1, los bloques numerados del 1 al 5 pertenecen al sistema de corrección propiamente dicho, ya que es la parte que se pretende diseñar.

A continuación se explica en forma resumida, la razón de ser y funcionamiento de los bloques mencionados anteriormente.

#### **1 SUMADOR:**

En los equipos monoaurales es más crítica la atenuación de agudos presentada por error de azimut. Esto quiere decir que con desviaciones más pequeñas se atenúan más gravemente las altas frecuencias. Por lo tanto, se indica el requerimiento de una salida monoaural para obtener una acentuación del error en la posición de la cabeza. Esto se logra sumando los canales Izquierdo y Derecho (L,R) de la salida del preamplificador.

#### **2 FILTRO PASA ALTAS**

Como se indicó anteriormente, la esencia del problema radica en la atenuación de frecuencias altas. Entences, con este filtro se pretende aislar el problema. La frecuencia de corte, aproximación

y orden del filtro se obtuvieron con un módulo de pruebas diseñado especialmente para este propósito.

### **3 PROMEDIADOR**

Este bloque se requiere para obtener una señal que varíe proporcionalmente a la desviación de la cabeza. Aquí es importante destacar que esta señal sólo es una aproximación de lo que sucede con la posición durante un tiempo corto, ya que la música varía su promedio de agudos en forma aleatoria. Sin embargo, bajo ciertas consideraciones se puede decir que tal señal es válida para el diseño que se pretende realizar.

### **4 MICROCONTROLADOR**

Es la parte que se encarga de realizar el control. Más adelante se profundizará en el algoritmo que se usará en el proyecto. Por el momento sólo se menciona que la señal obtenida del promediador entra al microcontrolador mediante un ADC, el cual se encuentra contenido dentro del microcontrolador, siendo la salida una serie de pulsos que alimentan al motor de pasos que realiza la corrección mecánica del ángulo.

### **5 MECANISMO DE PASOS**

Se puede decir que representa las manos del microcontrolador. El mecanismo está directamente acoplado con la cabeza de reproducción y moverá el azimut a través de un motor de pasos, un tornillo sin fin,

un engrane y una leva.

### 3.3 DISEÑO DE UN MODULO DE PRUEBAS DE AZIMUT

En esta sección se presenta la necesidad de realizar algunos experimentos encaminados a la definición de algunos parámetros necesarios para el diseño de los bloques antes mencionados.

Para poder realizarlos ha sido necesario el diseño y construcción de un aparato con el que se puedan realizar ciertas mediciones como son:

- a) Determinación de las frecuencias más afectadas con el error de azimut.
- b) Los ángulos de variación más críticos en el error de azimut.

Además, es importante contar con un equipo de grabación en el que se puedan observar todas las piezas mecánicas de un equipo de reproducción de cassettes.

Para determinar estos parámetros, el equipo debe de ser fácilmente conectable a instrumentos tales como osciloscopios y analizadores de espectros. También deben de poderse grabar y reproducir las señales provenientes de un generador de funciones y desde luego poder medir con cierta precisión el azimut en grados.

A este aparato se le llamará "Módulo de Pruebas de Azimut" (M.P.A.); para su diseño se planteó primeramente la necesidad de una grabadora reproductora de "trabajo" de mediana calidad a la cual se le adapte un transportador y una aguja de medición como se ilustra en la figura 3.2.

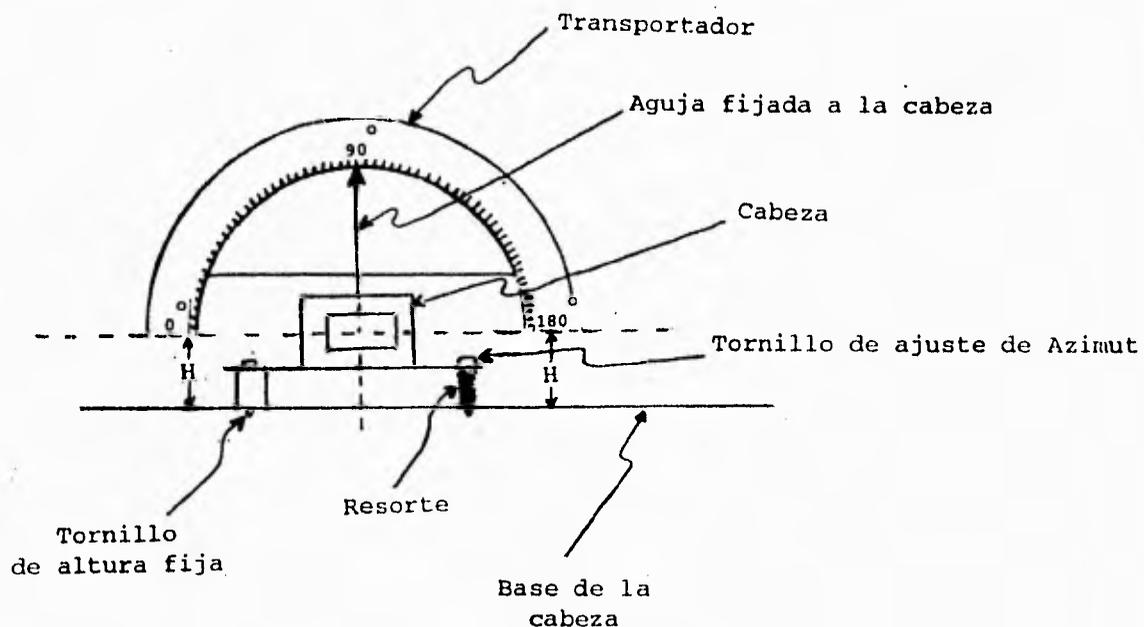


Fig. 3.2 Idea inicial para la construcción del Módulo de Pruebas de Azimut

Diseño del medidor angular:

Se sabe, según datos de la "Audiocyclopedia", que el azimut varía en el orden de los minutos, por lo tanto, una variación de  $\pm 1^\circ$  de azimut atenúa muchísimo la presencia de agudos en la reproducción.

Obsérvese la figura 3.3.

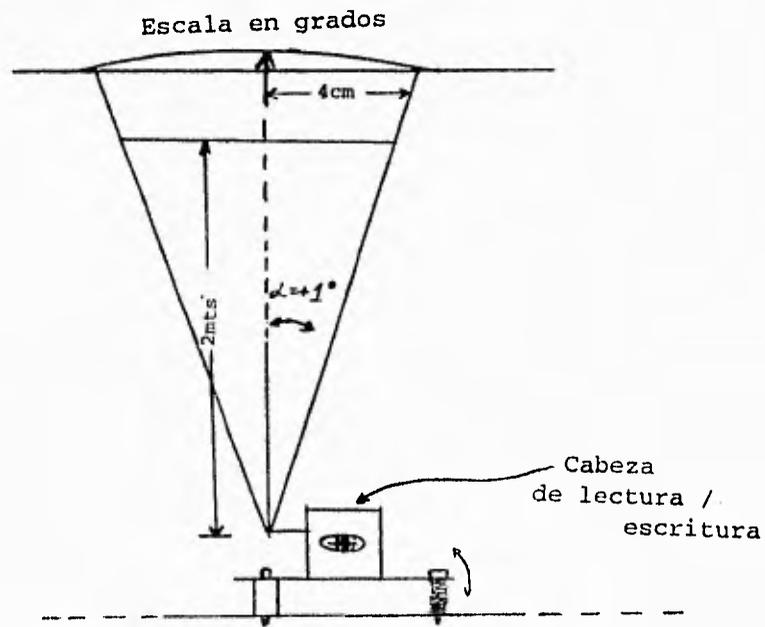


Fig. 3.3a

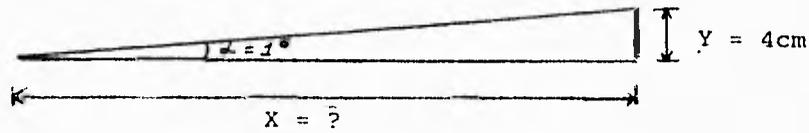


Fig. 3.3b

- Fig. 3.3 a) Conexión de un vástago o aguja de medición directamente a la cabeza  
 b) Triángulo rectángulo formado

Si se instalara un vástago como aguja de medición en la cabeza de grabación y se quisiera obtener una variación de 4 cm. para un ángulo de  $1^\circ$ , la aguja de medición tendría que ser de:

$$\tan \alpha = y / x$$

$$x = y / \tan 1^\circ = 4 \text{ cm} / \tan 1^\circ = 229 \text{ cm}$$

Obviamente, no es posible tener una aguja de medición tan larga.

En lugar de eso se construye el mecanismo de la figura 3.4.

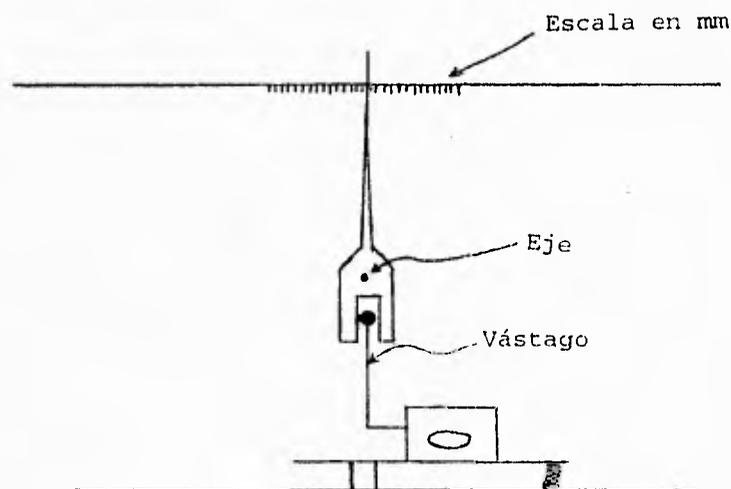


Fig. 3.4 Mecanismo empleado para provocar una variación angular mayor.

Este mecanismo exagera los movimientos de la aguja para ángulos pequeños. Ahora la medición es indirecta.

Véase el siguiente análisis, basado en la figura 3.5.

Si se instalara un vástago como aguja de medición en la cabeza de grabación y se quisiera obtener una variación de 4 cm. para un ángulo de  $1^\circ$ , la aguja de medición tendría que ser de:

$$\tan \alpha = y / x$$

$$x = y / \tan 1^\circ = 4 \text{ cm} / \tan 1^\circ = 229 \text{ cm}$$

Obviamente, no es posible tener una aguja de medición tan larga.

En lugar de eso se construye el mecanismo de la figura 3.4.

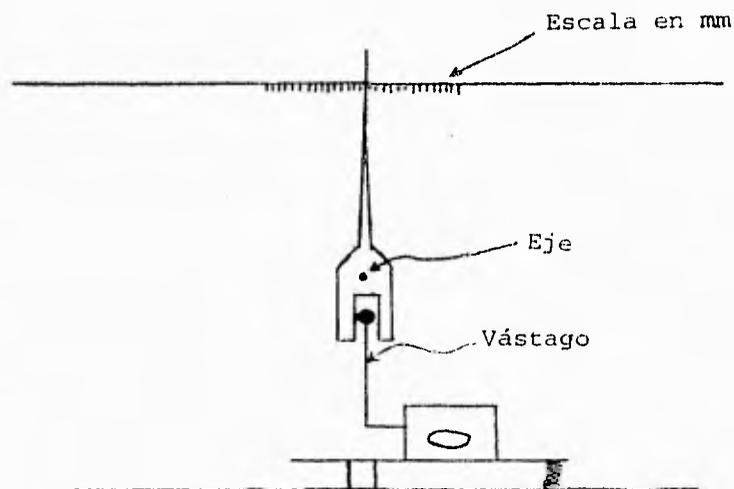


Fig. 3.4 Mecanismo empleado para provocar una variación angular mayor.

Este mecanismo exagera los movimientos de la aguja para ángulos pequeños. Ahora la medición es indirecta.

Véase el siguiente análisis, basado en la figura 3.5.

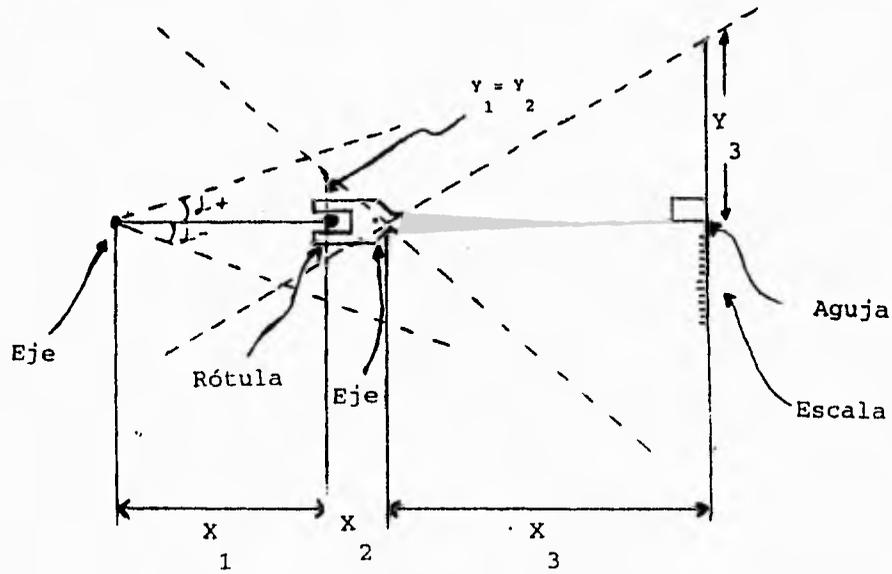


Fig. 3.5a

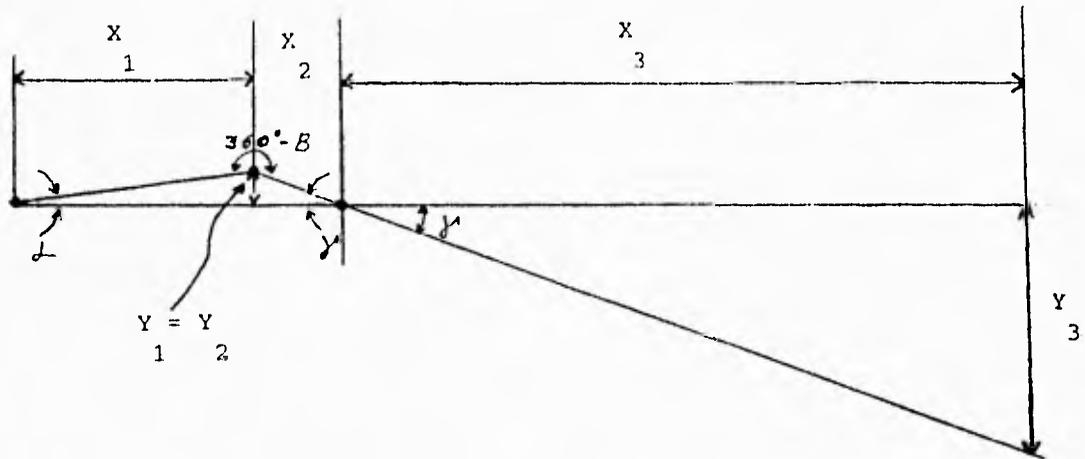


Fig. 3.5b

Fig. 3.5 a) Acotación del mecanismo de la figura 3.4  
 b) Diagrama geométrico

De la figura 3.5 b):

$$\gamma' = \tan^{-1} \frac{Y_3}{x_3} \quad (1)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{Y_2}{x_2} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{Y_1}{x_1} \quad (3)$$

como  $Y_1 = Y_2$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{Y_2}{x_1} \quad (4)$$

de 2

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{Y_2}{x_2}$$

$$\tan \gamma = \frac{Y_2}{x_2} \quad (5)$$

$$Y_2 = x_2 \tan \gamma$$

sustituyendo (5) en (4)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{x_2 \tan \gamma}{x_1} \right] \quad (6)$$

de (1)

$$\tan \gamma' = \frac{Y_3}{x_3} \quad (7)$$

sustituyendo (7) en (6)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{x_2 \frac{y_3}{x_3}}{x_1} \right] \quad (8)$$

simplificando

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{x_2}{x_3 x_1} y_3 \right) \quad (9)$$

$x_1, x_2, x_3$ ; se miden o se determinan previamente

$$\text{sea } K = \frac{x_2}{x_3 x_1} ;$$

$$\alpha = \tan^{-1} K y_3 \quad (10)$$

Como se puede ver en el análisis de las expresiones (1) a (10), se puede medir  $\alpha$  (que es el azimut) con sólo medir la distancia Y3. En nuestro modelo, se definen las siguientes medidas:

$$X1 = 7.8 \text{ cm}$$

$$X2 = 0.3 \text{ cm}$$

$$X3 = 17.2 \text{ cm}$$

por lo tanto  $K = 0.00224$

Como nota importante, se indica que el mecanismo incrementador de movimientos descrito en los párrafos anteriores se adaptó a un grabador y reproductor de cassettes de la marca Majestic que normalmente se instala en un equipo de sonido llamado "Modelo Júpiter".

Este mecanismo, viene con la circuiteria preamplificadora y ecualizadora necesaria.

#### 3.4 REALIZACION DE EXPERIMENTOS CON EL MODULO

A continuación se darán a conocer las mediciones y experimentos necesarios para la determinación de algunos parámetros de diseño, así como la familiarización y conocimiento del grabador-reproductor adquirido.

Equipo necesario para la realización de los experimentos:

- 1) Módulo de Pruebas de Azimut (MPA)
- 2) Fuente bipolar de + - 17V
- 3) Osciloscopio
- 4) Analizador de espectros (\*)
- 5) Generador de ruido
- 6) Generador de funciones
- 7) Impresor de gráficas (\*)
- 8) Cables de conexión

\* Estos dos equipos se encuentran en un solo aparato junto con un osciloscopio digital en el Laboratorio de Comunicaciones.

#### EXPERIMENTO 1

**Medición de la señal de borrado y premagnetización.**

**Objetivo:**

Conocer y medir la señal de borrado y premagnetización para tener dicho dato únicamente como referencia general.

**Introducción Teórica:**

Como introducción teórica puede tomarse la información referente a polarización de la cabeza de grabación contenida en el Capítulo 1 de este trabajo.

**Desarrollo:**

1. Medición de la señal de borrado.
  - 1.1 Polarícese el MPA con  $V_{cc} = 17\text{ V}$
  - 1.2 Conéctese un canal del osciloscopio en los pines de la cabeza de borrado.
  - 1.3 Oprímense las teclas REC y PLAY del reproductor del MPA
  - 1.4 Obsérvese la señal en el osciloscopio
2. Medición de la señal de premagnetización.
  - 2.1 Igual a 1.1
  - 2.2 Conéctese un canal del osciloscopio en los pines de un canal de la cabeza de grabación.
  - 2.3 Cortocircuitar a tierra las entradas MIC.
  - 2.4 Igual a 1.3
  - 2.5 Igual a 1.4

**Resultados y conclusiones:**

Obsérvese la figura 3.6.

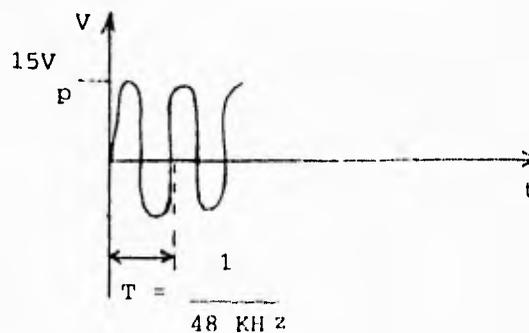


Fig. 3.6 Gráfica obtenida del punto No. 1 del desarrollo



**Objetivo:**

Determinar la respuesta en frecuencia del reproductor de trabajo, para conocer qué frecuencias son grabadas y reproducidas de manera óptima, así como las limitaciones naturales en cuanto a la reproducción y grabación de altas frecuencias (que es la limitación principal de un deck de cassettes).

Nota: No se requiere para esta aplicación, un conocimiento estricto del tipo de cinta empleado.

**Introducción Teórica:**

Un magnetófono convencional, puede verse desde un punto de vista teórico, como un filtro pasa-bajas que opera "fuera de línea" en forma analógica.

La frecuencia de corte de dicho equipo determina su capacidad de reproducir agudos. Para la realización de este experimento (y los próximos) se requiere conocer como dato la amplitud de la señal de entrada. Haciendo experimentos con un "microfono condensador", se determinó que la amplitud de salida del mismo, va de unos 5 a 10 milivolts. Aunque gracias a un control automático de ganancia que por lo regular traen los ecualizadores que operan durante la grabación, a veces pueden introducirse al magnetófono señales de hasta cerca de 1 volt en la operación de grabado.

Nota: No es de importancia el comportamiento de los ecualizadores de grabación y reproducción, ya que su existencia es transparente para el experimento.

**Material requerido:**

- Fuente de voltaje
- Generador de ruido
- Osciloscopio y analizador de espectros digital con impresora integrada
- Cables varios

**Procedimiento y desarrollo:**

1. Grabación de la señal de ruido.
  - 1.1 Polarizar el MPA con 17 V
  - 1.2 Ajustar la salida del generador de ruido dentro de los límites establecidos en la introducción teórica.
  - 1.3 Conectar la salida del generador de ruido a la entrada Mic L y Mic R del reproductor del MPA.

1.4 Presionar las teclas REC y PLAY del reproductor del MPA.

Nota: El conexionado descrito se indica en la figura 3.8.

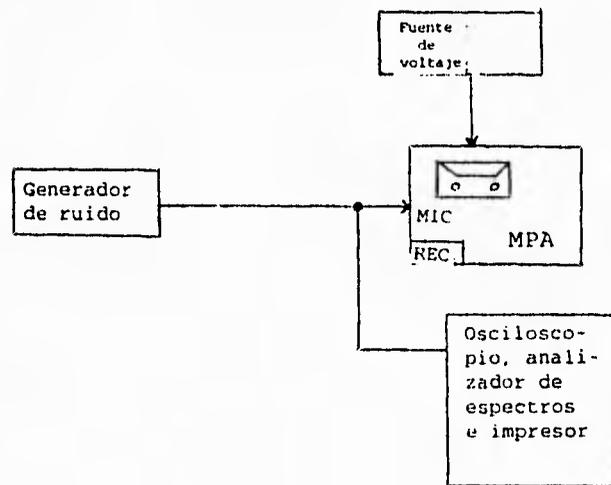
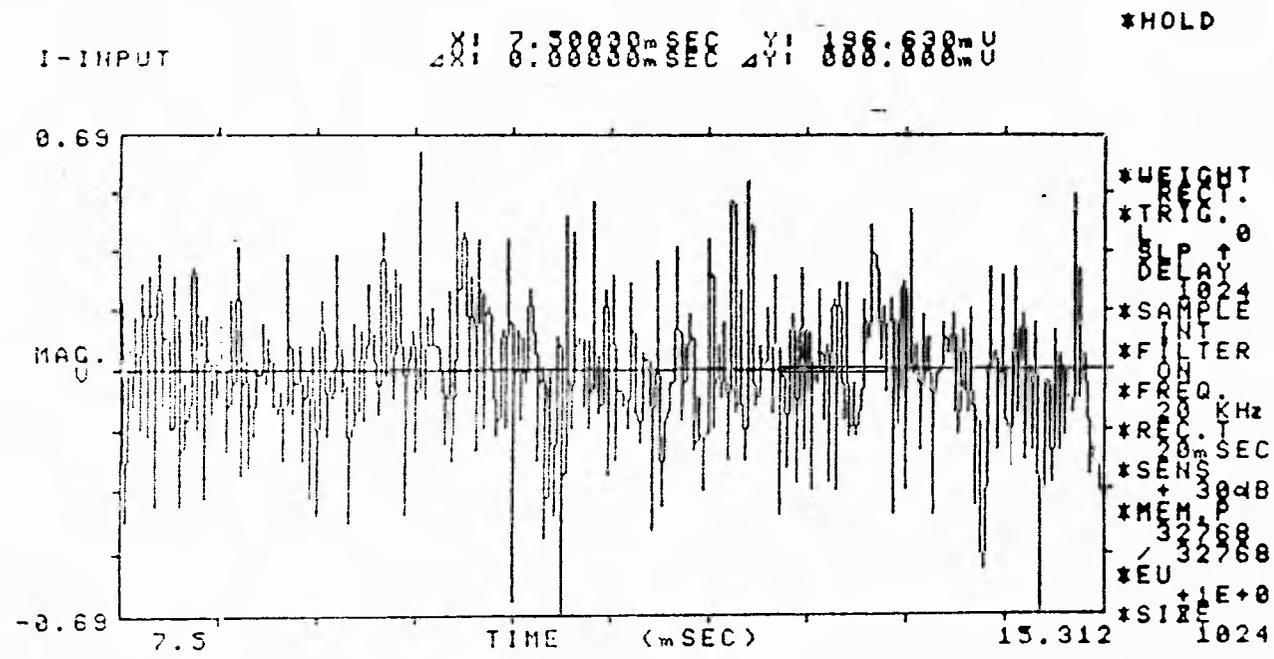


Fig. 3.8 Conexionado de la señal de entrada

#### Resultados parciales:

Como era de esperarse la señal de ruido es la indicada en la figura 3.9. Una señal que contiene todas las frecuencias y cuyo promedio de amplitudes es uniforme, pero lo importante es que se está grabando.

Fig. 3.9 Señal introducida al MPA n) En el tiempo





## 2. Reproducción de la señal de ruido.

### 2.1 Igual a 1.1

### 2.2 Conectar un canal de salida del reproductor del MPA al osciloscopio

### 2.3 Presionar la tecla PLAY

Nota: El conexionado descrito se indica en la figura 3.10.

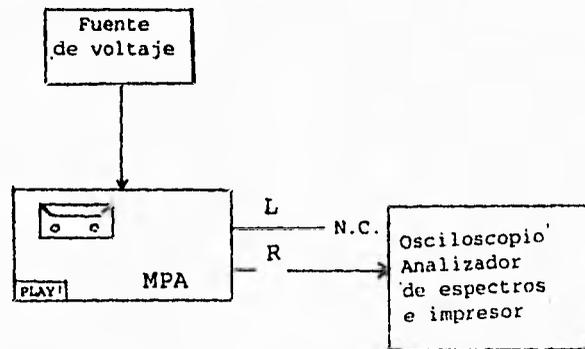


Fig. 3.10 Diagrama a bloques del conexionado para sensar la reproducción del ruido grabado

### Resultados parciales:

En esta medición se encuentran aspectos interesantes que se describirán en las conclusiones del experimento.

Las gráficas obtenidas se indican en la figura 3.11, a) y b). Gráficas de la reproducción del ruido que se grabó anteriormente.

Nota: Es imprescindible destacar que no se varió el azimut de la reproducción respecto de la grabación. Esto es para que sea válida la prueba del ancho de banda.

Fig. 3.11 a) Respuesta en el tiempo

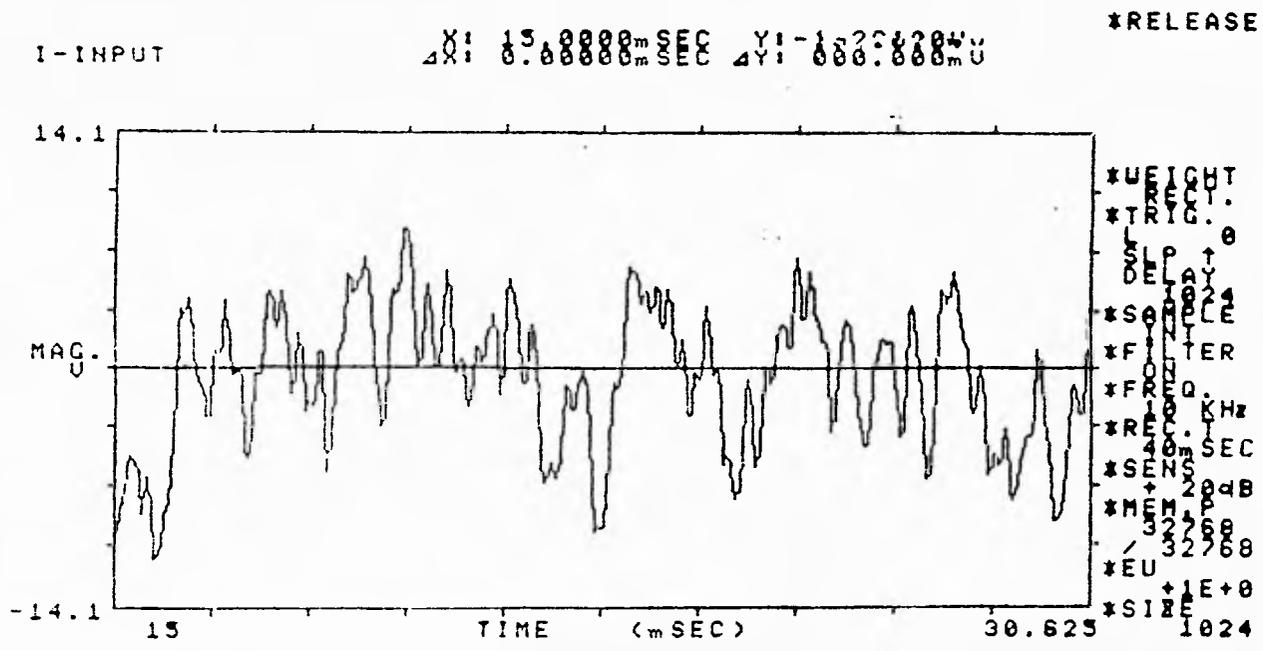
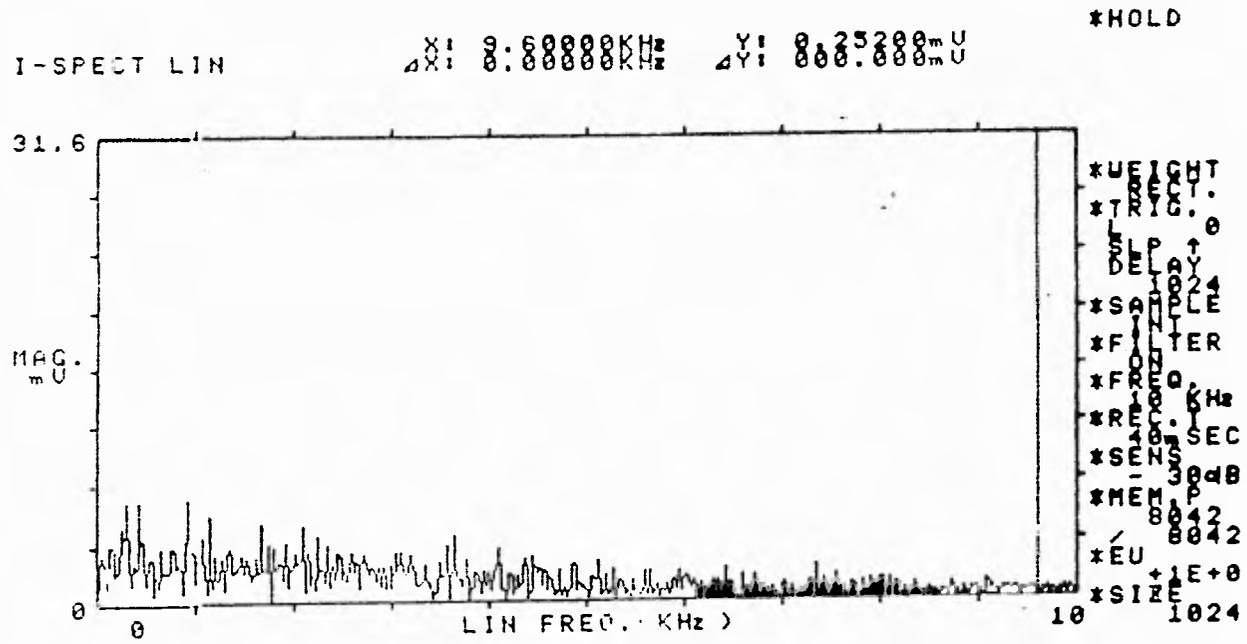


Fig. 3.11 b) Respuesta en frecuencia



**CONCLUSIONES DEL EXPERIMENTO 2:**

Si se compara la figura 3.9 a) con la figura 3.11 a) notamos que en la figura 3.11 a) hay una pérdida de fluctuaciones en la señal. Aunque claro, la escala de tiempo en la figura 3.9 a) es de la mitad de la figura 3.11 a), pero aún así se puede apreciar que la figura 3.11 a) es menos "rizada", esto es porque ya no es tan rica en altas frecuencias.

Lo anterior se aclara más en la comparación de los espectros (figuras 3.9 b) y 3.11 b). El espectro de la figura 3.9 b) tiene un promedio de amplitudes uniforme, mientras que en la figura 3.11 b) se vé una caída prácticamente lineal al aumentar la frecuencia.

Es un poco difícil apreciar donde está el 70% de la amplitud máxima, pero se puede decir que las altas frecuencias son ya demasiado pequeñas alrededor de los 8.5 KHz en adelante.

**EXPERIMENTO 3**

**Determinación de las frecuencias más afectadas en la reproducción al provocar un error de azimut.**

**Objetivo:**

Definir qué frecuencias se atenúan al provocar artificialmente un error de azimut, ya que esos datos son de suma importancia para el diseño del filtro pasa-altas que requiere el sistema.

**Introducción teórica:**

Los primeros dos experimentos han servido para conocer únicamente al magnetófono de trabajo que forma parte del MPA. En este experimento se obtendrá en base a un criterio medianamente subjetivo, una frecuencia a partir de la cual se pueda considerar que comienza la distorsión del sonido por falta de altas frecuencias (\*). Para realizar este experimento se va a grabar una señal rica en armónicas, pero no como el ruido, sino armónicas perfectamente definibles y constantes a lo largo del tiempo. Esta señal será como la indicada en la figura 3.12, y es un pulso periódico de 1 KHz y con un ciclo de trabajo del 10% que provendrá de un generador de funciones.

(\*) En cuanto al por qué de la pérdida de esas frecuencias, puede consultarse el Capítulo 2.

**Material requerido:** El mismo material del Experimento 2.

**Procedimiento y desarrollo:**

1. El procedimiento es similar al del Experimento 2 y los diagramas a bloques del conexionado son los mismos, excepto por una cosa, en lugar de conectar el generador de ruido, se conectará el generador de funciones.
2. Ajústese la frecuencia y ciclo de trabajo de los pulsos a 1 KHz y 10% de ciclo de trabajo, como se indica en la figura 3.12.

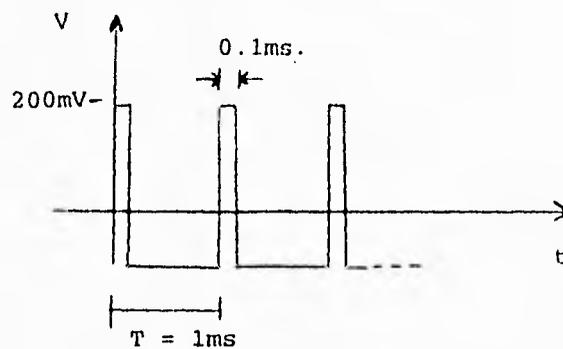


Fig. 3.12 Señal que se introdujo al MIC del MPA en el Experimento 3

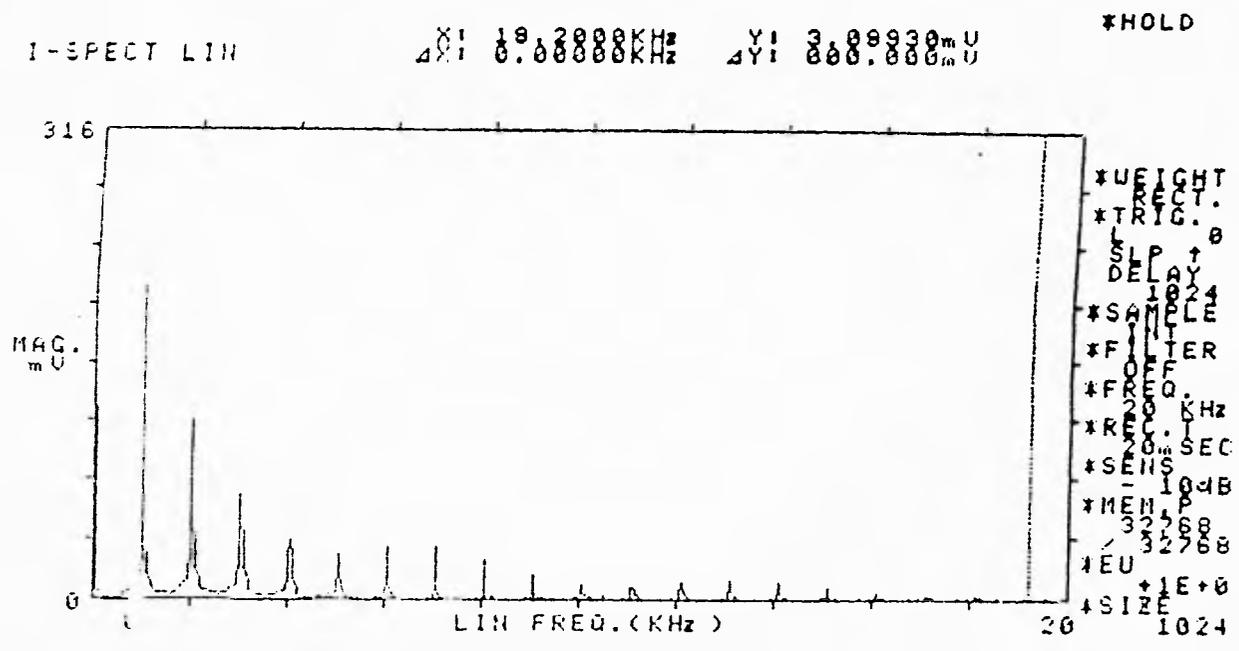
3. Esta vez sólo se grabará la señal de pulsos y se indicarán únicamente las gráficas de salida.
4. Se harán las siguientes mediciones:
  - 4.1 Lectura y graficación de los pulsos reproducidos con azimut de cero grados en el tiempo y en la frecuencia con rango de 20 KHz.
  - 4.2 Igual a 4.1 pero con azimut de  $\pm 9'$ .
  - 4.3 Graficación de espectro con azimut cero grados pero ahora con rango de 10 KHz.
  - 4.4 Igual a 4.3 pero con azimut de  $\pm 9'$ .
  - 4.5 Igual a 4.3 y 4.4 pero con azimut de  $\pm 18'$ .

Gráficas obtenidas (Resultados parciales): a continuación se presentará en forma de secuencia el conjunto de impresiones que forman parte de las mediciones indicadas en el punto 4 del procedimiento.

Nota: Véanse las próximas 8 páginas.



FIG. 3.13D FM 1A FREQUENCY





I-SPECT LII      X: 19.2000KHz    Y: 0.86887mU    \*HOLD  
 ΔX: 0.00000KHz    ΔY: 000.000mU

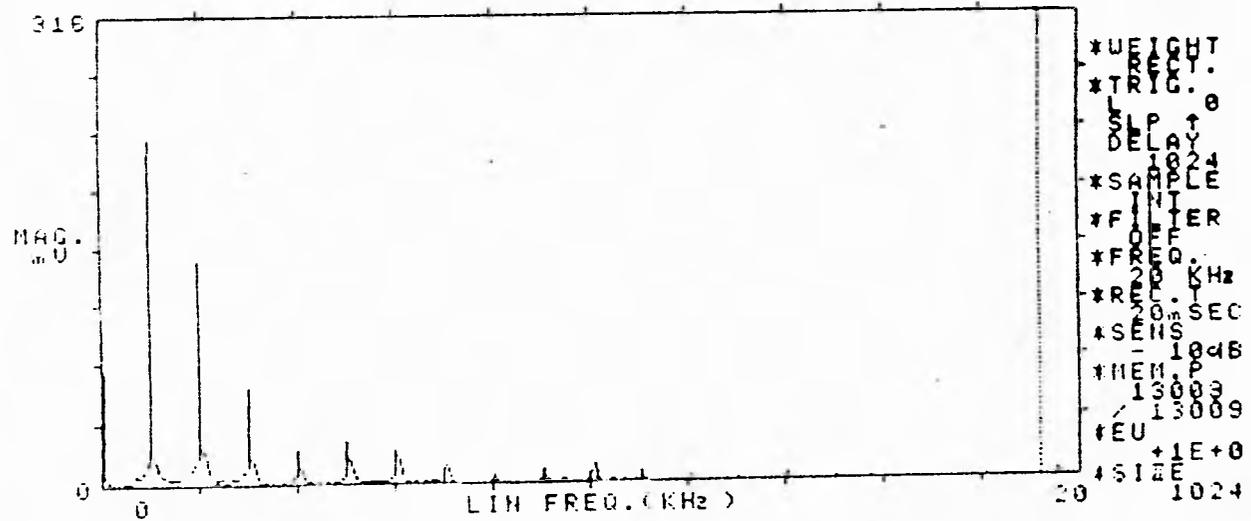


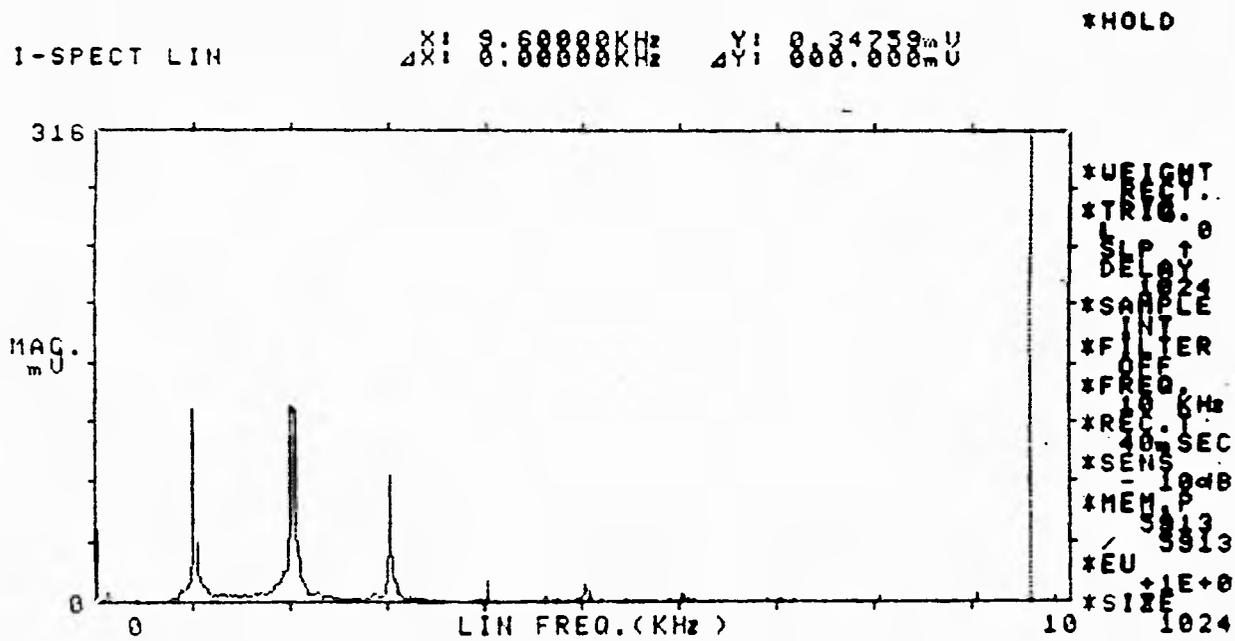
Fig. 3.14b FM 14 FROUENOLA







Fig. 3.16b Azimut desviado + - 18'



**CONCLUSIONES DEL EXPERIMENTO 3:**

Se tienen varias observaciones y conclusiones interesantes.

- Si se observan las primeras cuatro figuras (3.13 a), b) y 3.14 a) y b)), primeramente en el tiempo vemos que como consecuencia de la respuesta no ideal del magnetófono, los pulsos se distorsionaron al grado de producirse una señal más suave y con unos picos "nuevos" en la sección inferior de la gráfica (véase la figura 3.13 a).
  
- En el espectro (fig. 3.13 b)) de la misma señal se puede observar que se trató de formar la función envolvente  $\text{sinc}(x)$  (o  $\text{sen}x/x$ ) como hubiera sido natural, pero debido a la pérdida normal de altas frecuencias, se nota que casi se perdieron por completo.
  
- Cuando se desvió el azimut, se puede ver que se distorsiona muy sensiblemente la señal en el tiempo (comparar la figura 3.13 a) con la figura 3.14 a)) y desde luego en el espectro (figuras 3.13 b) y 3.14 b)), prácticamente no existen armónicas a partir de los 12 KHz.
  
- Para ver amplificado el anterior efecto de los espectros, se recurre a cambiar la escala de frecuencia de 20 a 10 KHz y comparando las figuras 3.15 a) y 3.15 b)), casi podríamos decir que a partir de 6 KHz se tiene una pérdida grave de altas frecuencias.
  
- Para acentuar la gravedad del problema ahora se recurre a variar exageradamente el azimut de  $\pm 9'$  a  $\pm 18'$  y ahora

prácticamente esta señal ya no sirve para HI-FI, porque ya no existen armónicas a partir de 4.5 KHz. Esto se vé en las figuras 3.16 a) y 3.16 b). Estas dos figuras dicen lo mismo que en el punto anterior pero de una manera más crítica.

### 3.5 SUMARIO DE RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

En esta sección se enumeran las conclusiones obtenidas, mismas que servirán como parámetros de diseño del prototipo y/o como datos de apoyo al diseño.

Primero que nada sabemos que el oscilador de borrado y premagnetización es de 48 KHz y que tiene una amplitud y potencia considerable, ya que la impedancia de ambas cabezas (borrado y registro) es baja, siendo la amplitud de 30 Vpp para la cabeza de borrado y 20 Vpp para la de registro.

En las gráficas de voltaje, se puede ver que la salida del magnetófono empleado es de entre 2.0 V y 3.5 V de amplitud pico a pico (que es más o menos un estándar en cuanto a mecanismos de grabación de los empleados para ser instalados dentro de sistemas integrales de audio).

Cuando se hizo el experimento de determinación de ancho de banda, se encontró que éste estrictamente no va más allá de 8 KHz, lo cual es

normal si consideramos que no es un equipo sofisticado.

Como consecuencia del punto anterior, cuando se graban señales que contienen frecuencias elevadas, se ven relativamente distorsionadas en el momento de la reproducción (como en el caso de los pulsos que se grabaron y reprodujeron).

Finalmente, se encontró una grave atenuación de las frecuencias altas al variar el azimut, lo cual se describió en las últimas gráficas (figs. 3.15 a) y b) y 3.15 a) y b)) y las frecuencias más afectadas parten de unos 4.5 KHz en adelante.

Cabe hacer la observación de que una variación en el azimut de + 18' es ya exagerada y esto se definió en base al criterio auditivo del que desarrolló este trabajo, lo cual es un poco subjetivo, pero se pueden comprobar estas observaciones en base a algún trabajo estadístico o en base a la realización de una prueba personal de aquél que la solicite.

Por otro lado, la determinación de los ángulos se obtuvo midiendo la distancia Y3 recorrida por la aguja de medición del MPA y multiplicando ésto por la constante K demostrada en el análisis geométrico del MPA.

Ahora ya se está en capacidad de pasar al diseño del modelo

experimental del corrector automático de azimut, lo cual se verá en el Capítulo 4 de este trabajo.

## 4. DESARROLLO DEL DISEÑO

Hemos llegado al punto medular de este trabajo, el cual consiste en el diseño del **CORRECTOR AUTOMATICO DE AZIMUT**.

El proceso de diseño, estará constituido de los siguientes bloques:

- a) Experimentación
- b) Diseño del mecanismo
- c) Diseño del conjunto analógico
- d) Diseño del conjunto digital
- e) Diagrama final y notas complementarias
- f) Pruebas y conclusiones

Los bloques a) y f) forman parte de los Capítulos 3 y 5 de este trabajo, respectivamente. Los bloques b), c), d) y e) se desarrollarán en el presente capítulo.

### 4.1 DISEÑO DE LA ETAPA MECANICA

#### 4.1.1 CONDICIONES DE DISEÑO

El desarrollo de esta parte comenzará empleando las siguientes condiciones de diseño:

1.- Se adaptará el mecanismo corrector de azimut a un mecanismo de cassettes típico y comercial.

2.- La posición óptima determinada por el sistema sobre el mecanismo corrector de azimut, no debe de ser alterada al poner el mecanismo de cassette en cualquiera de sus Funciones: STOP, FFWD, RWD, PAUSE, PLAY, REC, EJECT.

3.- Para que se pueda tener un conocimiento pleno de la posición del mecanismo, es deseable, que se mueva con un motor de pasos.

4.- Como se trata de un diseño preliminar y como el objetivo de este trabajo no es ahondar en el diseño de piezas mecánicas, se emplearán adaptaciones de piezas de desecho.

5.- Las piezas de desecho podrán ser:

- Levas
- Engranés
- Ejes
- Motores de pasos
- Tornillos sinfín
- Bujes, etc.

6.- El diseño mecánico se limitará al ingenio mecánico para combinar las piezas y a la realización de mediciones y cálculos que demuestren

que el mecanismo cumple con los requerimientos de precisión establecidos en el Capítulo 3.

#### 4.1.2 DEFINICION DE BLOQUES FUNDAMENTALES

Los bloques fundamentales parten de la manera como se diseñó el MPA. En el MPA, teníamos un mecanismo amplificador de los movimientos de la cabeza, que operaba adaptando un vástago a la cabeza.

Pues bien, ahora se adaptará un vástago a la cabeza al igual que en el MPA, pero será el vástago el que mueva ahora a la cabeza a través de un mecanismo operado por un motor de pasos.

De acuerdo a lo anterior, se pueden distinguir los bloques indicados gráficamente en la figura 4.1.

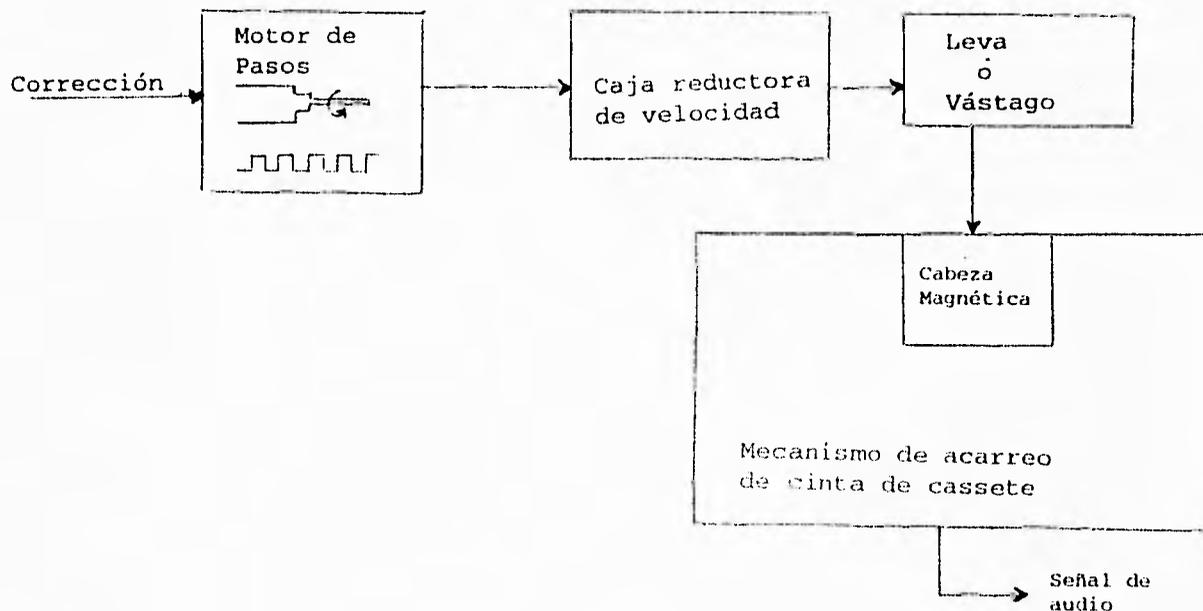


Fig. 4.1 Diagrama a bloques de las partes que forman el mecanismo

#### 4.1.3 ARMONIZACION CABEZA - VASTAGO - CAJA REDUCTORA

En esta sección se diseñará la parte más importante del mecanismo de corrección.

Primero ha de soldarse un vástago a la parte superior de la cabeza magnética como se indica en la figura 4.2.

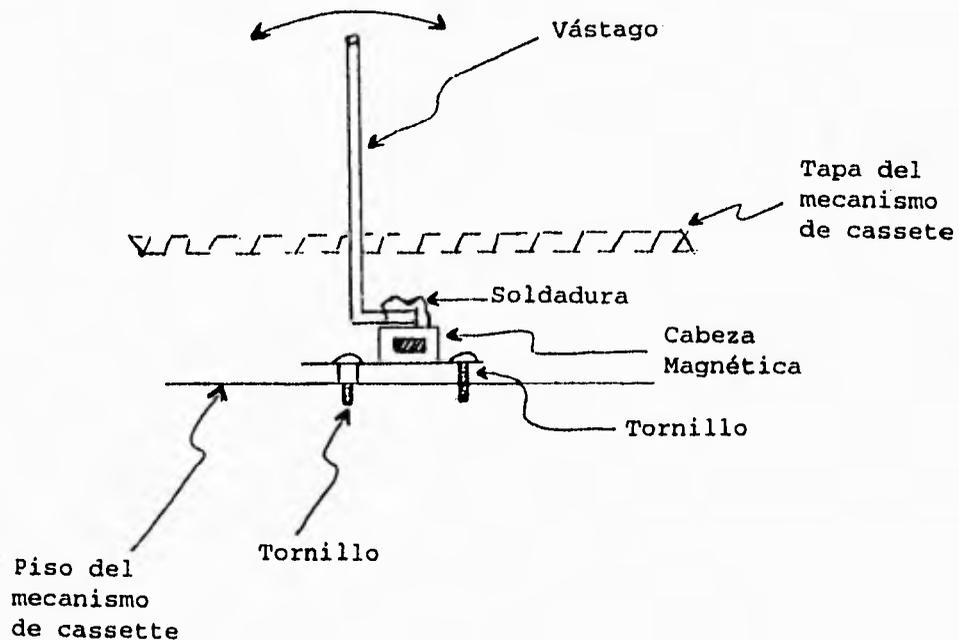


Figura 4.2 Adaptación del vástago a la cabeza magnética

Es importante destacar que en el tornillo de la derecha (en la figura 4.2), ya no se dibujó el resorte, pues éste se deberá quitar para que

la cabeza se mueva libremente al mover el vástago.

En la figura 4.3, se representa la vista de planta del mecanismo de la figura 4.2, con el objeto de aclarar más el dibujo.

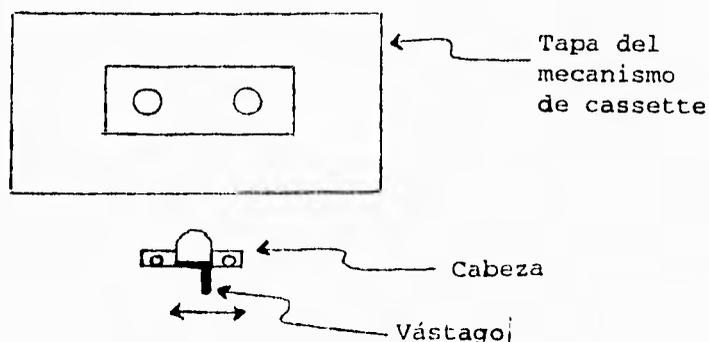


Fig. 4.3 Esquema de la vista de planta de la figura 4.2

Si se mueve el vástago de izquierda a derecha, éste describirá un movimiento angular que es prácticamente el azimut de la cabeza.

Ahora viene la construcción del reductor de velocidad. Es necesario aclarar que en estas secciones se está hablando de la idea básica a nivel cualitativo. Posteriormente, se aplicarán mediciones y análisis a dicha idea.

A un motor de pasos como el empleado en las unidades de disco

de computadora se le ha de adaptar un tornillo sinfín, un engrane y unos bujes y a este conjunto se le denominará "caja reductora de velocidad".

En la figura 4.4, se indica la construcción de la caja reductora de velocidad.

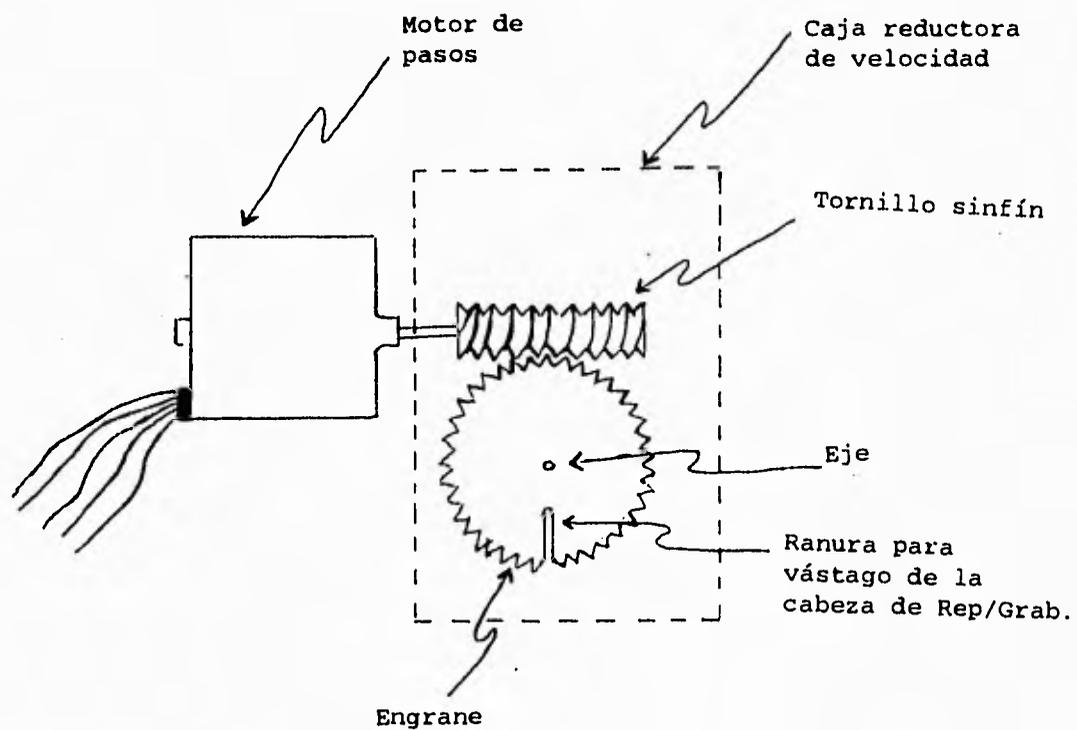


Fig. 4.4 Esquema de la caja reductora de velocidad

El acoplamiento del vástago que mueve a la cabeza con la caja reductora de velocidad será a través de una ranura cuya holgura

deberá ser mínima por razones de precisión.

Finalmente en la figura 4.5, se indica el acoplamiento final de la cabeza con la caja reductora de velocidad.

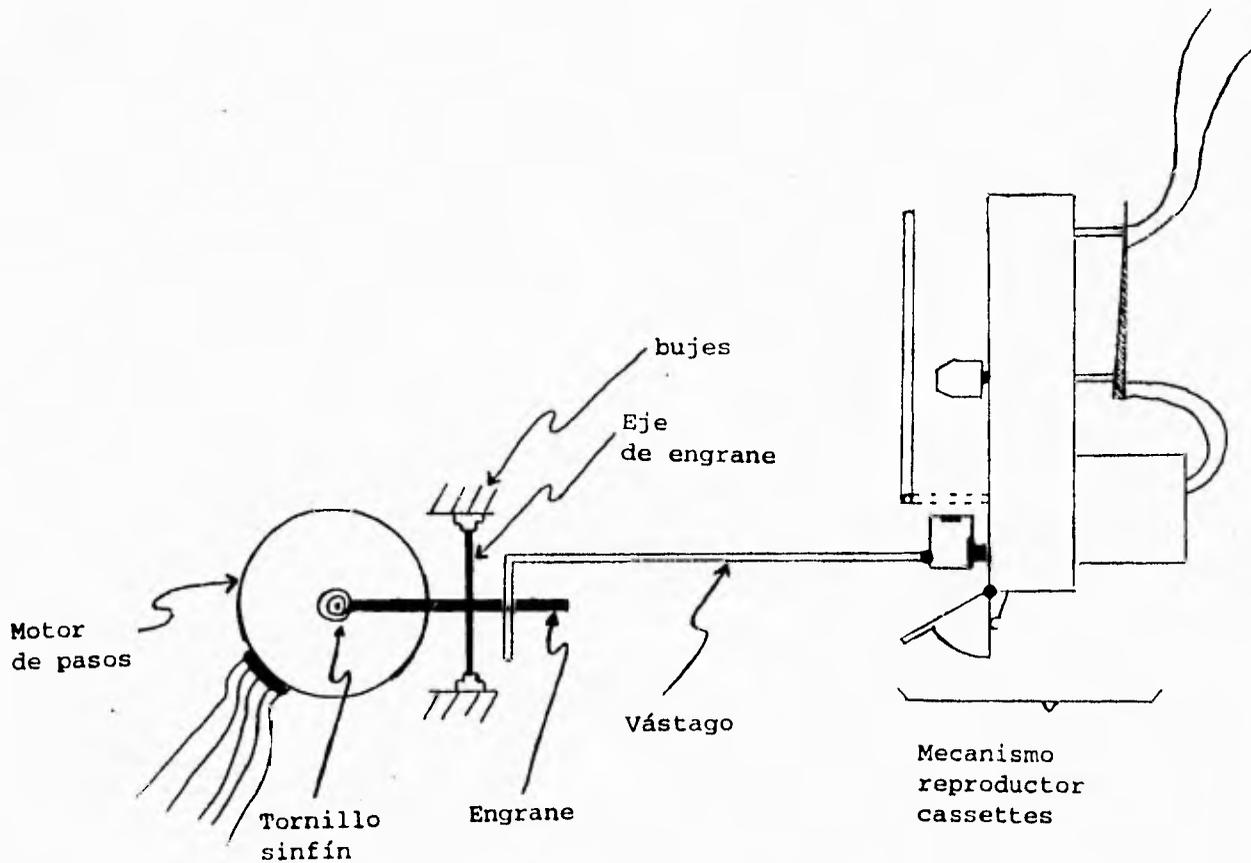


Figura 4.5 Mecanismo final del conector automático de azimut

La caja reductora realiza un papel importantísimo en este diseño, ya que tiene varias funciones que son:

- 1.- Incrementar la fuerza mecánica del motor de pasos para poder mover la cabeza.
- 2.- Disminuir la velocidad del motor de pasos para optimizar la programación en el microprocesador, al no ser necesarios muchos ciclos anidados de retraso para operar el motor.
- 3.- Aumentar la precisión del mecanismo.

#### 4.1.4 ESTUDIO DE PRECISION DEL MECANISMO PLANTEADO

Se ha planteado un mecanismo de pasos que mueve el azimut de la cabeza, pero no se siguió un diseño estricto en función del rango de variación del azimut. Sin embargo, se puede demostrar matemáticamente que el mecanismo planteado cumple con los requerimientos de precisión encontrados en el Capítulo 3 (+ - 18').

Para iniciar el análisis, habrá que apoyarse en las figuras 4.6 a) y 4.6 b).

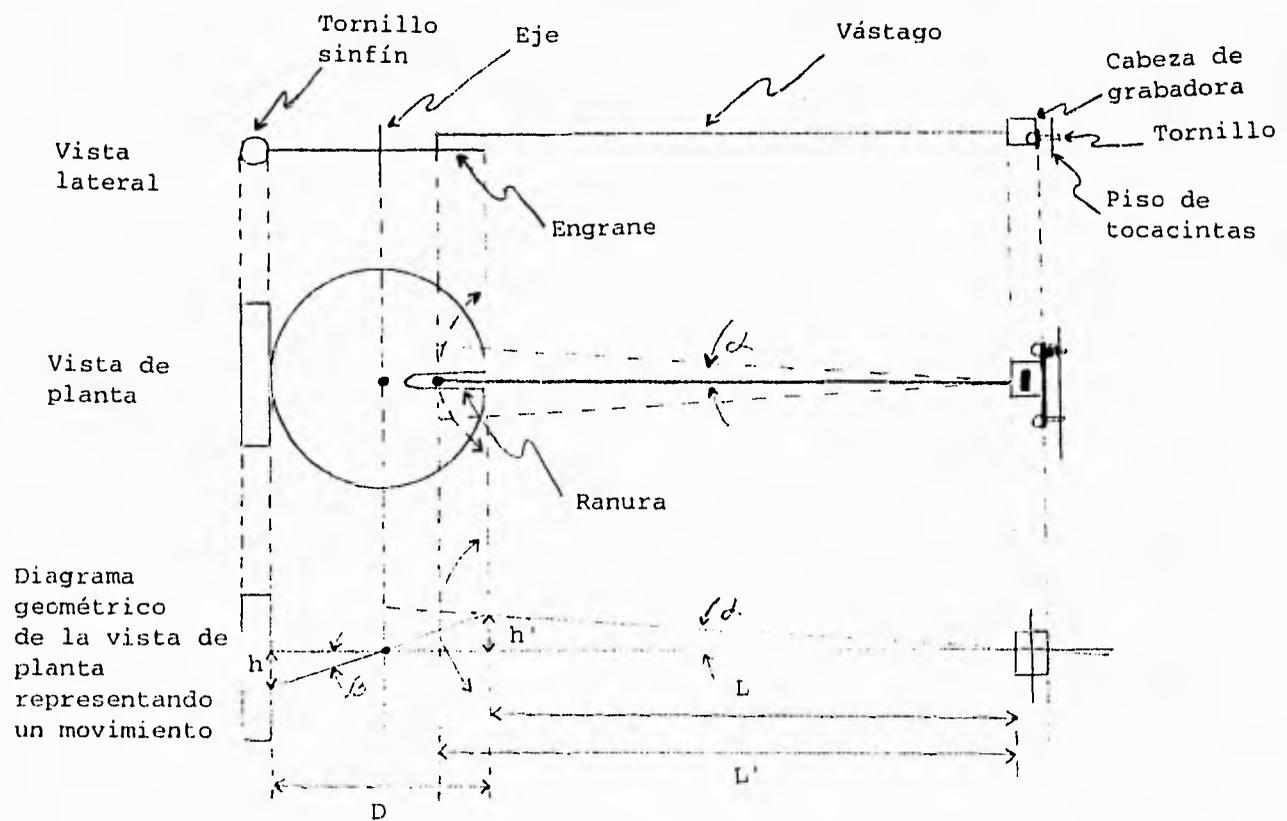


Fig. 4.6 Diagramas requeridos para el análisis del mecanismo. a) Vistas lateral y de planta y diagrama geométrico .

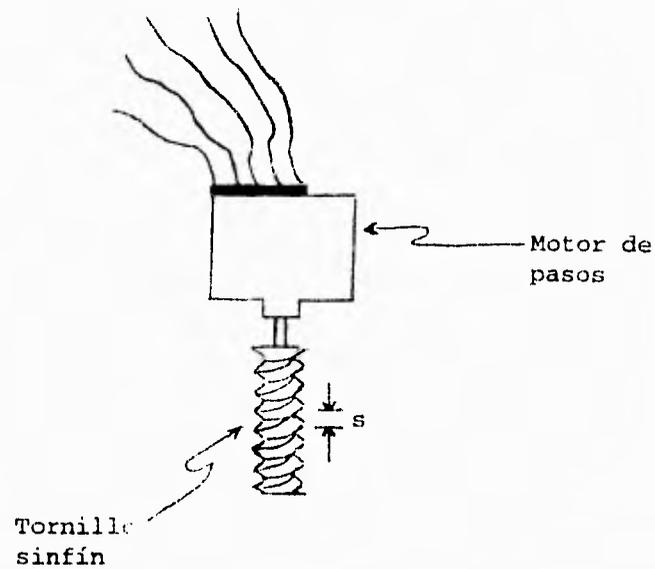


Fig. 4.6 Diagramas requeridos para el análisis del mecanismo. b) Separación entre espiras del tornillo sinfin.

De la figura 4.6 a):

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h'}{L} \dots \dots \dots (1)$$

Por triángulos opuestos por el vértice con  $1/2$  de  $D$  como cateto

adyacente en cada triángulo:

$$h' = h$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Donde L es constante y es dato de la construcción del mecanismo.

Ahora hay que poner  $\alpha$  en función del número de pasos dados por el motor.

Apoyándose en la figura 4.6 b) se pondrá h en función del número de pasos "P" dados por el motor.

Sea  $N = N^\circ$  de pasos para que el motor gire  $360^\circ$ . Entonces:

$$360^\circ = N \Theta \dots \dots \dots (4)$$

donde  $\Theta$  es el ángulo recorrido por el motor de pasos al dar un paso.

Ahora bien, para que h recorra una distancia igual a la distancia S, es necesario que el motor de pasos gire  $360^\circ$  (o sea  $N \Theta$ ), esto es, cuando un diente del engrane avanza una espira del tornillo sinfín. Pero a su vez, de la misma manera, h recorrerá una distancia diferente a S, cuando el motor dé un número de pasos P diferente a N.

Por ley de proporciones:

$$\frac{S}{360^\circ} = \frac{h}{P\Theta}$$

o sea

$$\frac{S}{N\Theta} = \frac{h}{P\Theta}$$

$$h = \frac{SP\Theta}{N\Theta}$$

$$h = \frac{P}{N} S \dots \dots \dots (5)$$

Sustituyendo (5) en (2)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{P}{N} S}{L} \right]$$

$$\therefore \alpha = \tan^{-1} K P \dots \dots \dots (6)$$

donde  $K = \frac{S}{NL}$

donde S es dato del tornillo sinfin.

N es dato del motor de pasos.

L es dato de la construcción de mecanismo

La expresión (6) nos dá la fórmula para calcular el azimut  $\alpha$  en función del número de pasos P que dá el motor.

En nuestro caso:

$$S = 1 \text{ mm}$$

$$N = 28 \text{ pasos}$$

$$L = 122 \text{ mm}$$

y por lo tanto  $K = 0.000093145$

Si el motor dá un solo paso, (o sea  $P = 1$ ) entonces:

$$\alpha = \tan^{-1} K = 0.0053368^\circ = 19.21254''$$

Considerando que la variación grave es de  $\pm 18'$  vemos que un paso de  $\alpha$  es apenas el 1.78 % de  $18'$  (siendo  $1' = 60''$ ).

Con lo anterior se comprueba que el mecanismo planteado cumple con la precisión requerida.

Es evidente que este mecanismo, aunque preciso, es demasiado robusto, como para meterlo en un equipo comercial de audio; desde luego, se tiene que perfeccionar y hacer más pequeño, pero el objetivo de este PROTOTIPO es demostrar que la idea funciona.

Como nota adicional, se comenta que las piezas de desecho fueron adaptadas y ensambladas por ayudantes de los talleres del CENTRO DE DISEÑO MECANICO de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, bajo la supervisión del autor de este trabajo.

#### **4.2 DISEÑO DE LA ETAPA ANALOGICA**

Se ha venido hablando del diagrama a bloques del conjunto que forma al corrector de azimut.

En la figura 3.1 se mostró el diagrama a bloques completo. Ahora, de dicho diagrama se van a extraer los bloques analógicos. Dichos bloques se enumeran a continuación.

- . Sumador
- . Filtro pasa altas
- . Circuito promediador

Además de los bloques citados existen algunas etapas de acoplamiento y adaptación de la señal que se mostrarán en el diagrama del circuito final.

##### **4.2.1 ETAPA SUMADORA**

El error de azimut tiene consecuencias críticas en equipos monoaurales. Por lo tanto hay que crear una señal monoaural, sumando

los canales izquierdo y derecho del preamplificador.

El sumador empleado es del tipo no inversor como el que se muestra en la figura 4.7.

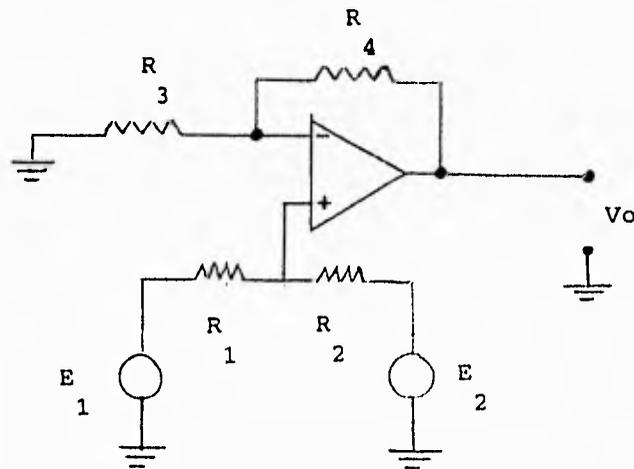


Fig. 4.7 Sumador empleado a la salida del preamplificador

Dicho circuito presenta la ventaja de que su impedancia de entrada depende únicamente de  $R_1$  y  $R_2$ , las cuales pueden ser de valores

elevados para que el circuito tenga una impedancia elevada. Esto es bueno porque se requiere que el circuito no represente una carga significativa, ya que la señal del preamplificador debe ser aprovechada de manera óptima por el amplificador de potencia.

A continuación se presenta el análisis de ganancia del circuito

mencionado:

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) V^+ \dots \dots \dots (1)$$

$$V^+ = E_1 - \frac{E_1 R_1}{R_1 + R_2} + \frac{E_2 R_1}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (2)$$

Sustituyendo 2 en 1

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \left[ E_1 - \frac{E_1 R_1}{R_1 + R_2} + \frac{E_2 R_1}{R_1 + R_2} \right] \dots \dots \dots (3)$$

Si  $R_1 = R_2$

$$V_o = \left( E_1 + E_2 \right) \left[ \frac{1}{2} \right] \cdot \left[ 1 + \frac{R_4}{R_3} \right] \dots \dots \dots (4)$$

En la expresión (4) , vemos que el segundo factor determina la ganancia de la suma.

En el caso de nuestro circuito real:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k ohm}$$

$$R_3 = 1 \text{ k ohm}$$

$$R_4 = 250 \text{ k ohm}$$

#### 4.2.2 FILTRO PASA ALTAS

Para la realización del filtro se hicieron una serie de iteraciones tratando de definir los parámetros de diseño del mismo.

Para llegar a la plantilla de diseño, se partió de los experimentos del Capítulo 3, en los que se grabó una señal pulsante y se extrajo de la grabación el espectro de frecuencias. Ahí se encontró que las frecuencias mayormente afectadas partían de los 4.5 KHz en adelante.

De las iteraciones que se mencionan se concluyó que la plantilla requerida era de un filtro Buterworth como la que se muestra en la figura 4.8.

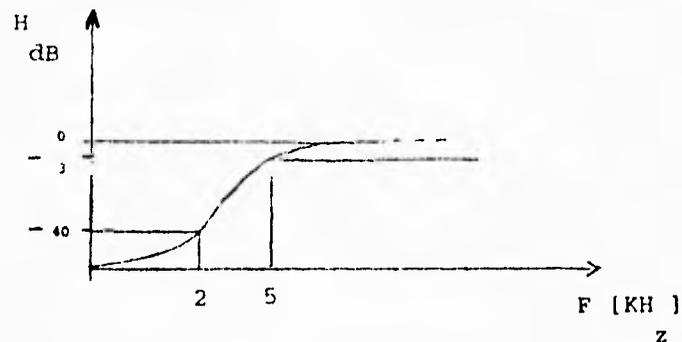


Fig. 4.8 Plantilla de diseño del filtro requerido para el corrector automático de azimut

Esta plantilla de diseño se obtuvo introduciendo a las

expresiones del cálculo del orden diferentes parámetros y se fueron sacrificando algunas exigencias en cuanto a la pérdida en dB, hasta que fuera satisfactoria.

En cuanto al tipo de aproximación, se pudo haber escogido cualquiera (chevishev, elíptico, etc.), sin embargo, se escogió la aproximación Buterworth porque en sistemas de audio es común emplear este tipo de respuestas. Esto no es raro, ya que en audio se aprovechan tanto la linealidad de su respuesta en fase como la suavidad de su respuesta de ganancia.

Para diseñar el filtro, se aplicaron los procedimientos comunes como son:

- . Normalización
- . Cálculo del orden del filtro
- . Obtención de la función de transferencia del filtro pasa-bajas normalizado
- . Desnormalización de la función de transferencia
- . Realización del filtro

En la figura 4.9, se representa la plantilla de diseño del filtro pasa-bajas normalizado, asociado a la plantilla de diseño pasa-altas propuesta.

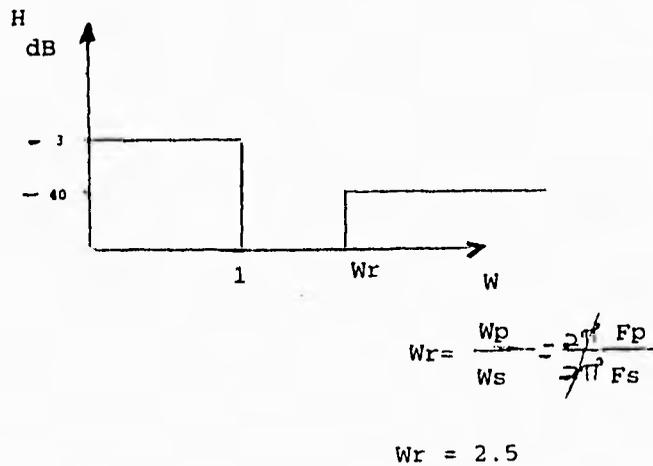


Fig. 4.9 Plantilla pasa-bajas normalizada asociada al filtro pasa-altas planteado

De la fórmula para calcular el orden de un filtro Buterworth:

$$n = \lceil \left[ \frac{\text{Log} (10^{0.3} - 1) / (10^4 - 1)}{2 \log (1/2.5)} \right] + 1 \right\rceil$$

donde  $I(.)$  es la parte entera.

$$\therefore n = 6$$

De tablas de polinomios para filtro Buterworth:

$$H(S) = \frac{1}{(S^2 + 0.5176S + 1)(S^2 + 2S + 1)(S^2 + 1.9318S + 1)}$$

Desnormalizando:

$$S \longrightarrow \frac{5000 (2 \pi)}{S} = \frac{31416}{S}$$

$$H(S) = \frac{\frac{S^2}{986965056+16261S+S^2}}{\frac{S^2}{986965056+44429S+S^2}} \frac{S^2}{986965056+60689S+S^2}$$

Ahora a partir de la función de transferencia, obtendremos el circuito. Para eso, hay que definir qué red de realización ha de emplearse.

A continuación se ennumeran algunos tipos de redes conocidas para realizar filtros:

- . Red de realimentación múltiple y ganancia infinita
- . Red de fuente de voltaje controlada por voltaje (VCVS)
- . Red de variables de estado
- . Red de conversión de admitancia negativa (INIC)

La red de variables de estado, ocupa demasiados elementos y resulta incosteable a no ser que se requirieran varios tipos de filtros en un solo circuito.

Por otro lado la red INIC tiene la ventaja de ser poco sensible a las variaciones de los elementos que la constituyen, pero tiene baja

impedancia de entrada y en consecuencia se requieren otras etapas de acoplamiento. Para un filtro de orden 6, esto resulta muy costoso. Además el filtro requerido no tiene que tener una precisión elevada porque de todos modos se va a extraer un promedio.

Tenemos entonces para elegir entre la red de realimentación múltiple y la red VCVS.

El problema que tienen estos dos últimos circuitos es su difícil sintonización, pero como ya se dijo en nuestra aplicación esto no es tan relevante.

Escojamos pues la red VCVS la cual se muestra en la figura 4.10.

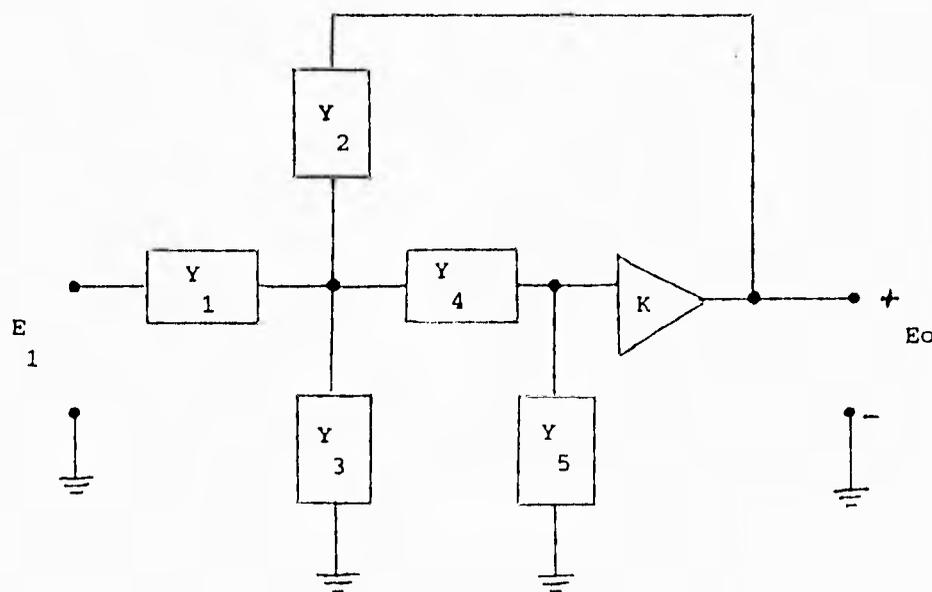


Fig. 4.10 Red VCVS

K es la ganancia de un amplificador (no inversor).

Sacando la función de transferencia tenemos que:

$$\frac{E_o}{E_1}(S) = \frac{KY \quad Y}{1 \quad 4}}{Y (Y + Y + Y + Y) + [Y + Y (1-K) + Y]}$$

5 1 2 3 4                      1 2                      3

En el caso del filtro paso-altas los componentes establecerán la siguiente expresión:

$$\frac{E_o}{E_1}(S) = \frac{KS^2}{\left( S^2 + S \left[ \frac{1}{RC_{21}} + \frac{1}{RC_{22}} + \frac{(1-K)}{RC_{11}} \right] + \frac{1}{RC_{12}RC_{11}RC_{21}RC_{22}} \right)}$$

del filtro de segundo orden:

$$H_o = K$$

$$W_o = \left( \frac{1}{RC_{12}RC_{11}RC_{21}RC_{22}} \right)^{1/2}$$

$$\alpha = \left( \frac{RC_{11}}{RC_{22}} \right)^{1/2} + \left( \frac{RC_{12}}{RC_{21}} \right)^{1/2} + \left( \frac{RC_{22}}{RC_{11}} \right)^{1/2} - K \left( \frac{RC_{22}}{RC_{11}} \right)^{1/2}$$

Siendo  $H_o, W_o$  y  $\alpha$  parámetros típicos del polinomio característico

de la función de transferencia de cualquier filtro.

Por lo regular estas expresiones se acompañan de las fórmulas de sensibilidad, sólo que en este caso por no ser crítica la precisión del filtro, no se hará el análisis de sensibilidad.

Ahora bien, el procedimiento de diseño es como sigue:

Dados:  $H_o$ ,  $\alpha$ ,  $W_o = 2\pi f_o$ ,

Seleccionar:  $C_1 = C_2 = C$

$$\text{Calcular: } R_1 = \frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 8(H_o - 1)}}{4 W_o C}, \quad R_2 = \frac{2}{W_o \alpha C}, \quad (\text{para } H_o = 1)$$

Cálculos para la primera etapa:

$$\frac{H_o S^2}{S^2 + \alpha W_o S + W_o^2} = \frac{S^2}{S^2 + 16261S + 986965056}$$

$$\alpha W_o = 16261$$

$$W_o = \sqrt{986965056} = 31436$$

$$\text{Como } \alpha = \frac{16261}{31416} = 0.52$$

Entonces:

$$H_o = 1$$

$$\alpha = 0.52$$

$$\omega_0 = 31416$$

$$\text{Si } C_1 = C_2 = 10\text{nf}$$

$$\text{Entonces } R_1 = \frac{0.52 + \sqrt{(0.52)^2 + 8(1-1)}}{4(31416)(10 \times 10^{-9})}$$

$$R_1 = 827.604 \Omega ; R_1 = 820 \Omega \quad (\text{comercial})$$

$$R_2 = \frac{2}{(31416)(10\text{nf})(0.52)}$$

$$R_2 = 12 \text{ K}\Omega ; R_2 = 12 \text{ K}\Omega \quad (\text{comercial})$$

De la misma manera para la segunda etapa:

$$C_1 = C_2 = 10\text{nf} ; R_1 = 2.2 \text{ K}\Omega ; R_2 = (3.3 + 1.2) \text{ K}\Omega \quad (\text{comercial})$$

Para la tercera etapa:

$$C_1 = C_2 = 10\text{nf} ; R_1 = (2 + 1) \text{ K}\Omega ; R_2 = 3.3 \text{ K}\Omega \quad (\text{comercial})$$

En la figura 4.11, se muestra una etapa del filtro que se empleará en el corrector automático de azimut (CAA).

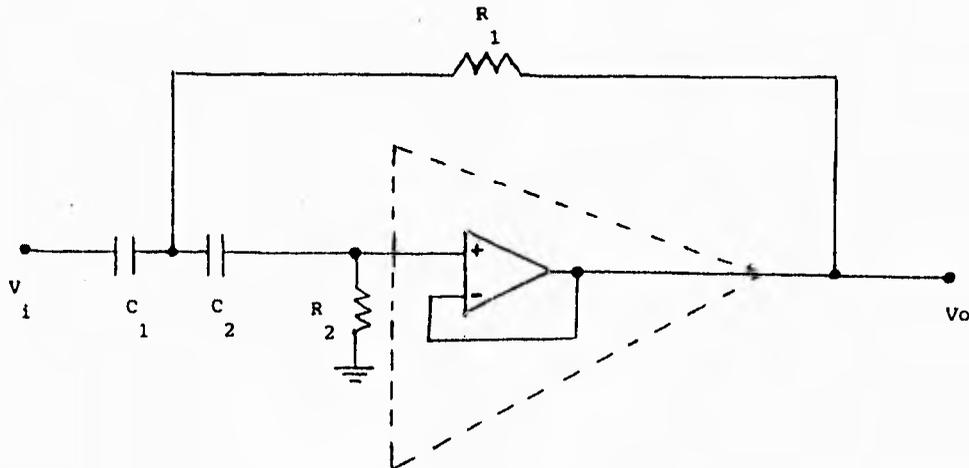


Fig. 4.11 Diagrama electrónico del Filtro pasa-altas

#### 4.2.3 ETAPA PROMEDIADORA

El objetivo de esta etapa es obtener un voltaje que varíe gradualmente al mover el azimut durante un cierto tiempo. Esto se logra con el promediador después de la etapa de filtrado, ya que el promedio de agudos es proporcional (durante un tiempo) a la exactitud del azimut. Lo demás es problema del software en el microcontrolador.

Lo correcto sería que se obtuviera un valor RMS verdadero, pero esto no es práctico ya que un circuito que hiciera esto sería muy costoso y veamos por qué:

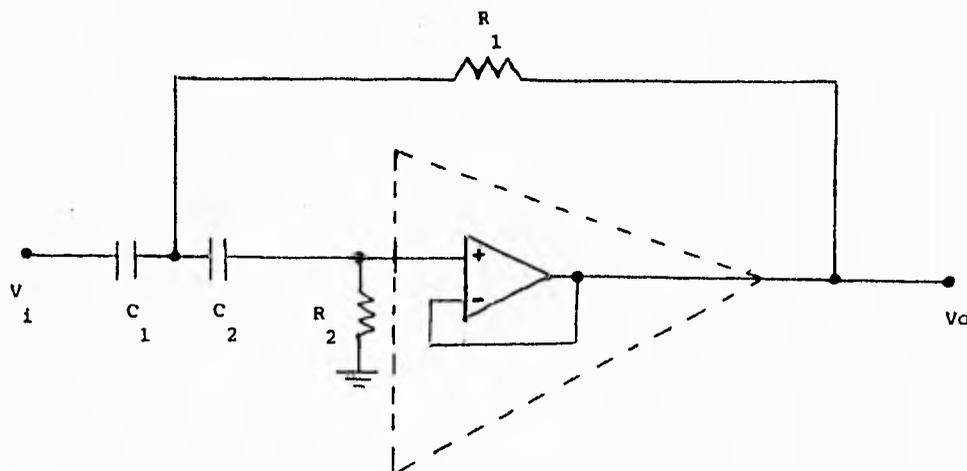


Fig. 4.11 Diagrama electrónico del Filtro pasa-altas

#### 4.2.3 ETAPA PROMEDIADORA

El objetivo de esta etapa es obtener un voltaje que varíe gradualmente al mover el azimut durante un cierto tiempo. Esto se logra con el promediador después de la etapa de filtrado, ya que el promedio de agudos es proporcional (durante un tiempo) a la exactitud del azimut. Lo demás es problema del software en el microcontrolador.

Lo correcto sería que se obtuviera un valor RMS verdadero, pero esto no es práctico ya que un circuito que hiciera esto sería muy costoso y veamos por qué:

La expresión para obtener el valor RMS de una señal cualquiera es la siguiente:

$$V_{\text{RMS}} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T f^2(t) dt} \dots \dots \dots (i)$$

Si quisiéramos realizar esta operación analógicamente, tendríamos los bloques de la figura 4.12:

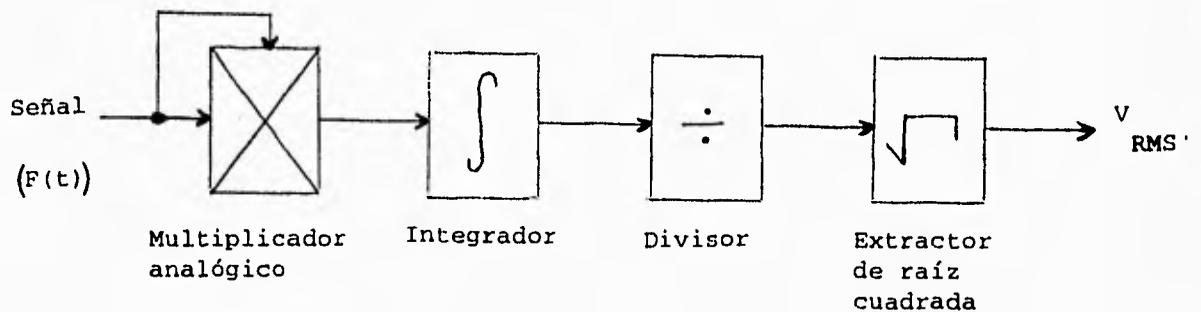


Fig. 4.12 Bloques analógicos del extractor de valor RMS

Existen varios problemas para la realización de estos bloques. Algunos de estos problemas son el hecho de que el período  $T$  no es constante, se requerirían demasiados amplificadores operacionales y faltarían incluir tal vez etapas inversoras y de acoplamiento.

Existe una expresión (que podríamos ver como opcional), que obtiene el voltaje promedio de una señal. Dicha expresión es la siguiente:

$$V_{\text{prom}} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots \dots \dots (ii)$$

El problema de esta expresión es que el promedio de una señal que tiene la misma área bajo la curva en el lóbulo positivo que en el lóbulo negativo es cero.

Comparando las expresiones (i) e (ii) se puede ver que son similares porque en la expresión (i) después de obtener el área bajo la curva de  $f(t)$ , extraemos la raíz cuadrada.

En lugar de eso, se hará una cosa parecida que no es precisamente la obtención de un valor RMS ni de un valor promedio, a esta expresión le llamaremos valor "pseudopromedio" o  $V_{\text{PSPM}}$ , y es la siguiente:

$$V_{\text{PSPM}} = \int_0^{tx} \sqrt{f(t)} / dt \dots \dots \dots (iii)$$

donde  $tx$  está relacionada con una constante de tiempo fijada o más bien calibrada empíricamente, según las necesidades operativas del circuito.

$V_{\text{PSPM}}$  tampoco es un promedio propiamente dicho, pero el hecho es que

dá como resultado una función suave que podría considerarse como una especie de promedio y la ventaja es que puede construirse fácilmente, ya que el valor absoluto de una señal puede verse como una rectificación de onda completa y la integración puede construirse con un seguidor y un integrador con amplificadores operacionales.

En la figura 4.13, se dibujó un diagrama a bloques de la función iii.

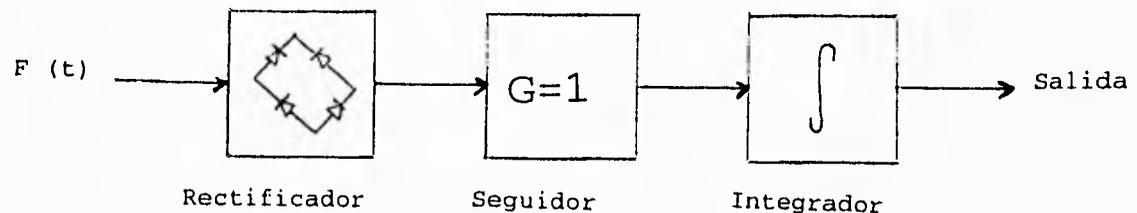


Fig 4.13 Diagrama a bloques de la expresión iii

En la rectificación de onda completa, existe el problema de que la salida no queda referida a tierra. Para evitar ese inconveniente, se empleará un rectificador de media onda con un solo diodo. El diagrama del pseudopromediador, se muestra en la figura 4.14.

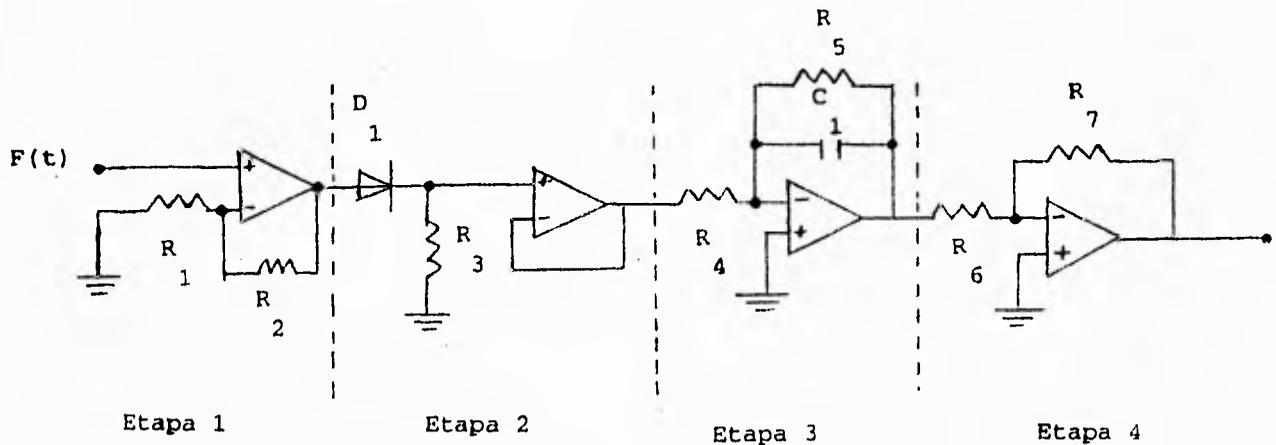


Fig. 4.14 Pseudopromediador

En el circuito de la figura 4.14, aparecen algunos elementos que no han sido comentados. Estos elementos se explican a continuación:

- **Etapa 1:**  $f(t)$  es la señal que se obtiene después del filtro pasa-altas. Se amplifica para hacer despreciables los efectos del voltaje de encendido del diodo  $D_1$ .
- **Etapa 2:**  $D_1$  realiza la rectificación de media onda y  $R_3$  se emplea para que exista una carga que sirve para que se pueda encender el diodo. La etapa seguidora se emplea para que el filtro de la etapa 3 vea una impedancia de salida baja

de la etapa 2, ya que de no ser así habría una no linealidad debida a que cuando el diodo se apague en los semiciclos negativos de la señal  $f(t)$  amplificada, existe una impedancia infinita que "desconectaría" la etapa 1 momentáneamente.

- **Etapa 3:** Esta es la etapa que realiza la integración. La constante de tiempo formada por  $R_4$ ,  $R_5$  y  $C_1$ , se calibra empíricamente, para obtener la señal suave requerida, haciendo pruebas con diferentes tipos de música.
- **Etapa 4:** La señal que sale de la Etapa 3 es demasiado grande como para ser introducida al convertidor analógico-digital del microcontrolador (la señal debe de tener una amplitud máxima de 5V y mínima de 0V), así es que hay que atenuarla. También se hubiera podido atenuar con un divisor de voltaje, pero al poner una atenuación activa, se asegura el acoplamiento con la siguiente etapa. Además en el circuito integrado que se empleará (TL084), existen 4 amplificadores operacionales.

Los valores empleados en este circuito son los siguientes:

$$R_1 = 1 \text{ K } \Omega \quad C_1 = 100 \text{ } \mu \text{ F}$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega \quad D_1 = 1N4148$$

$$R_3 = 220 \Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 4.7 \text{ k}\Omega$$

$$R_7 = 1 \text{ k}\Omega$$

Al final de este capítulo, se presentará un diagrama completo de la circuitería empleada. Por el momento, continuaremos con el diseño de la etapa digital la cual también se tratará en forma aislada.

#### 4.3 DISEÑO DE LA ETAPA DIGITAL

El diseño de la etapa se desarrollará bajo tres aspectos que son:

#### 4.3.1 Hardware

#### 4.3.2 Elementos de programación

#### 4.3.3 Software para el corrector automático de azimut.

##### 4.3.1 HARDWARE

Para realizar este diseño, podría emplearse cualquier microprocesador para aplicaciones poco complejas. Aquí se utilizará el microcontrolador MC68HC11 de Motorola, por incluir un programa de arranque muy práctico (boot loader) que sirve para hacer pruebas casi de inmediato. Además posee un convertidor digital-analógico integrado en el mismo circuito, lo cual es muy útil en esta aplicación.

En este inciso no habrá realmente un diseño, ya que se empleará un circuito de dominio público. Dicho circuito es el requerido para hacer funcionar al microcontrolador MC68HC11F1, al cual denominaremos simplemente HC11.

Aquí, se explicarán los elementos requeridos acerca del microcontrolador suficientes para el desarrollo del sistema. La circuitería requerida se muestra en el diagrama de la figura 4.15.

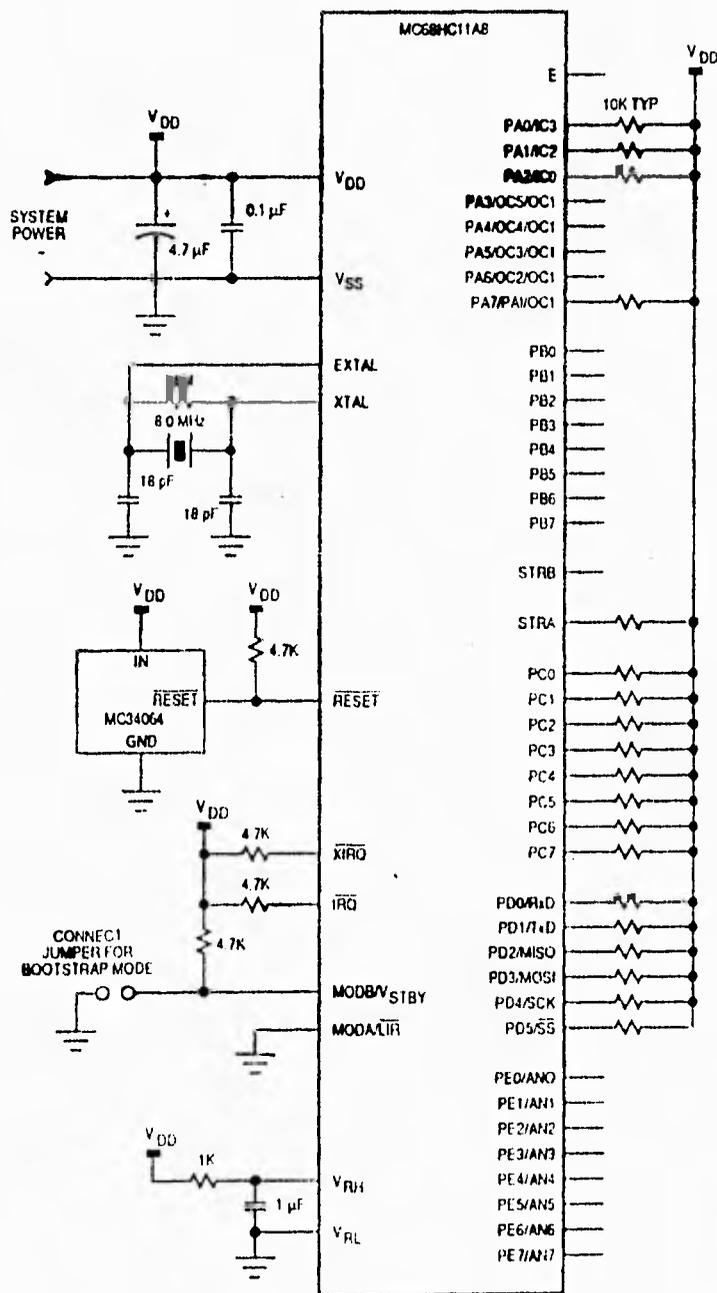


Fig. 4.15 Conexiones para modo "Simple" (single-chip) del 68HC11

Es importante destacar que al igual que en cualquier diseño de cualquier otra naturaleza, hay que probar los diferentes módulos que componen a éste. En el caso de nuestro diseño los módulos serán pequeños bloques de software que unidos darán el funcionamiento completo del sistema.

Esto implica que hay que complementar el circuito básico de la figura 4.14, con otras circuiterías que servirán para que en un principio el HC11, se pueda comunicar con una PC para poder emplear este microcontrolador bajo la filosofía tarjeta amigable (host-target) y mediante un software se puedan realizar pruebas. Posteriormente, se grabará el programa completo en la E<sup>2</sup> PROM del mismo circuito y así quedará una aplicación cerrada.

#### **4.3.1.1 INTERFAZ RS232**

El HC11 tiene un puerto serie integrado que requiere una interfaz para comunicarse con la PC. Esto significa que hay que convertir la señal que varía entre 0 y 5 volts a +12 y -12 volt, respectivamente. Esto se puede lograr con el circuito MAX232. El diagrama se indica en la figura 4.16.

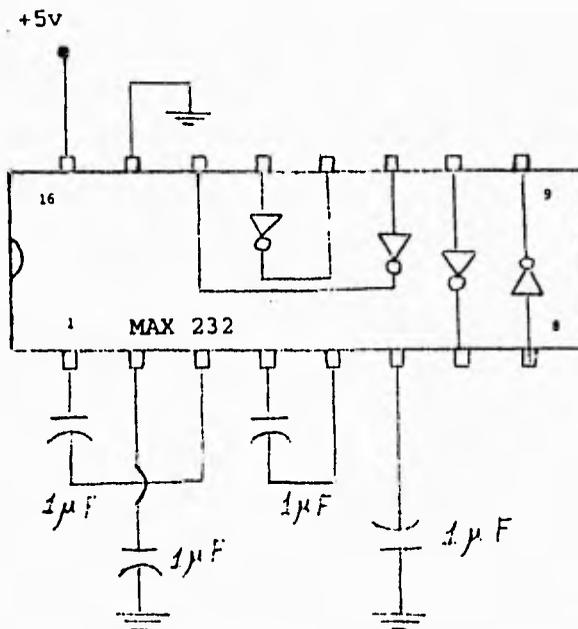


Fig. 4.16 Interfaz para comunicación con la PC

#### 4.3.1.2 RESET

El circuito de reset que se mostró en la figura 4.14, será sustituido por un botón de pulso conectado como se indica en la figura 4.17.

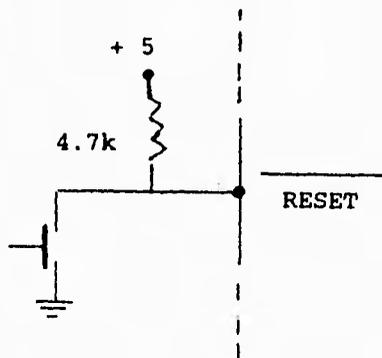


Fig. 4.17 Reset sencillo para el microcontrolador

#### 4.3.1.3 CONEXION CON LA PC PARA PRUEBAS Y PROGRAMACION

El primer paso que hay que dar para emplear este microcontrolador es armar el circuito de la figura 4.14, con las modificaciones de las figuras 4.16 y 4.17. Ahora hay que aplicar los 5 V y tierra en los pines  $V_{DD}$  y  $V_{SS}$ , respectivamente y poner a tierra MOD A y MOD B y oprimir reset.

Nota: Más adelante se comentará el por qué de los pasos descritos.

Para saber si el HC11 está operando, se puede verificar la existencia del reloj "E" en el pin correspondiente y para saber si la interfaz RS232 está trabajando adecuadamente, pueden desconectarse los pines que van hacia RxD y TxD, y se verifica que al poner 5V en el Rx del

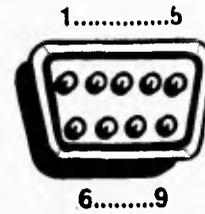
MAX232, aparezcan -12V en el Tx que va del lado de la PC y que al poner 0V en Rx de dicho chip, aparezcan +12V en el Tx que va del lado de la PC.

Por otro lado al poner +12V en el Rx del lado de la PC deben aparecer 0V en el Tx del lado que se conecta al HC11 y si se ponen -12V en el Rx del lado de la PC, deben aparecer 5V en el Tx del lado que se conecta al HC11.

Hechas estas pruebas y habiendo hecho las conexiones adecuadas entre el HC11 y el MAX232, hay que hacer tres conexiones entre el MAX232 y un puerto serie de la PC (por ejemplo COM1). Dichas conexiones son:

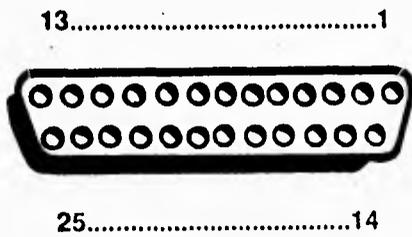
- 1.- Tierra del circito con tierra de la PC
- 2.- Tx del MAX232 con Rx de la PC
- 3.- Rx del MAX232 con Tx de la PC

A continuación se muestra un esquema en donde se indican los pines de un puerto serial de una PC. (Fig. 4.18).



**Serial Port Pinouts**

DB9S Connector	DB25P Connector	Signal Name
1	8	DCD
2	3	RX
3	2	TX
4	20	DTR
5	7	GND
6	6	DSR
7	4	RTS
8	5	CTS
9	22	RI



**Fig. 4.18** Asignación de pines para puerto serial de una PC

Existen diversas herramientas para trabajar con un HC11, sin embargo, este trabajo pretende aportar que se pueda conocer al microcontrolador sin necesidad de emplear ninguna herramienta comprada.

Nota: Es lógico que esta guía no puede igualarse con las herramientas ya existentes, pero dada la integración que tiene el circuito HC11, es

válido aplicar técnicas como la mencionada.

Uno de los primeros recursos que se tienen para conocer al chip, es el de poder ver resultados en unos leds. Estos leds se han de conectar como se indica en la figura 4.19.

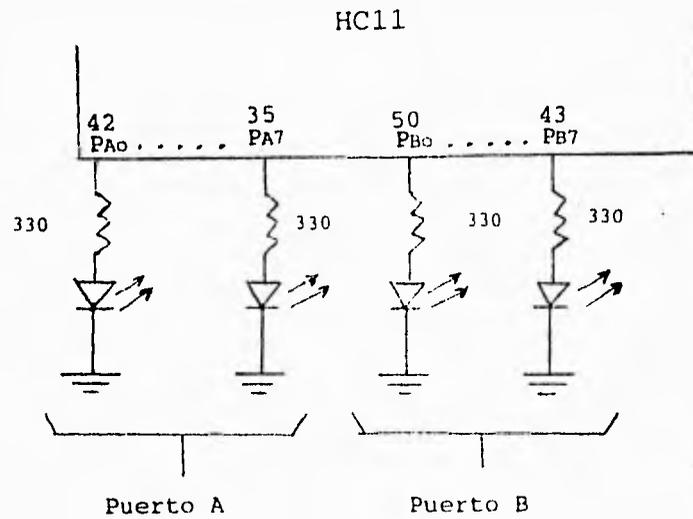


Fig. 4.19 Conexión de los leds al microcontrolador

Hasta aquí se tienen elementos de hardware para hacer funcionar al circuito y para hacer pruebas desde la PC. En el punto 4.3.2 que viene a continuación se explicarán algunos conocimientos necesarios para trabajar con el circuito.

### 4.3.2 ELEMENTOS DE PROGRAMACION

El HC11 tiene cuatro modos de operación. Estos modos se indican en la tabla de la figura 4.20.

Inputs		Mode Description	Control Bits in HPRI0 (Latched at Reset)			
MODB	MODA		RBOOT	SMOD	MDA	IRV
1	0	Normal Single Chip	0	0	0	0
1	1	Normal Expanded	0	0	1	0
0	0	Special Bootstrap	1	1	0	1
0	1	Special Test	0	1	1	1

Fig. 4.20 Tabla de modos de operación para el HC11

En principio, para hacer las pruebas ha de trabajarse en modo bootstrap. En este modo al inicio (después de un reset o al encender la fuente), el microcontrolador salta a la dirección BFO0 (lo primero que checa el microcontrolador son los pines MOD A y MOD B).

En esta dirección inicia un programa en ROM, llamado bootloader. Este programa habilita al puerto serie y entra en un loop en espera de datos.

El primer dato que debe de llegar al puerto es un \$FF. Con este dato

se fija el baudaje al cual van a llegar los demás datos, es decir, este \$FF no forma parte de la cadena de datos que formarían parte de un programa. Inmediatamente se envían los datos que forman el programa que se pretende probar (máximo 1024 bytes de 8 bits). El bootloader toma cada dato y lo escribe en RAM a partir de la dirección \$00 (hay 1K RAM dentro del circuito). Cuando hay una pausa en la cual ya no llegan bytes, el bootloader se sale del loop y provoca un salto a la dirección \$00, para que el programa comience a correr.

De esta manera puede conocerse al circuito teniendo como ventana de comprobación los leds que se conectaron al chip.

#### **4.3.2.1 CONOCIMIENTOS QUE REQUIERE EL PROGRAMADOR**

Dentro del circuito tenemos los bloques que se indican en la figura 4.21.

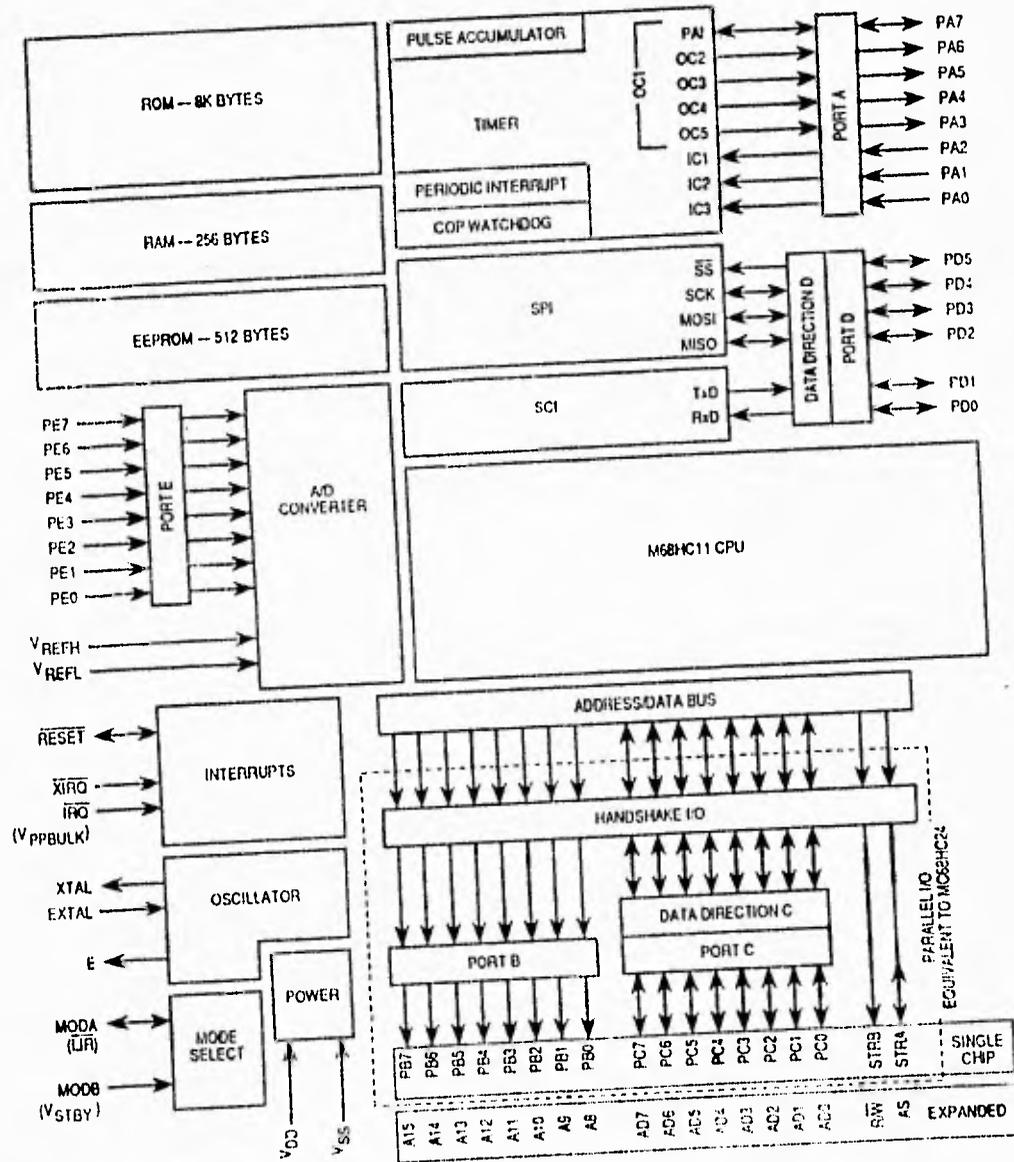


Fig. 4.21 Diagrama a bloques del MC68HC11F1

En este trabajo, los bloques que se emplearán para el corrector automático de azimut, son:

- . CPU
- . RAM
- . EEPROM
- . PUERTO A
- . PUERTO B
- . PUERTO E (como convertidor A/D)
- . Interrupciones
- . Puerto serie (sólo durante las pruebas)
- . ROM (bootloader, sólo durante las pruebas)
- . Bloques inherentes al funcionamiento

Por otro lado, también se requieren conocer los registros de uso común. Estos se muestran en la tabla de la figura 4.22.

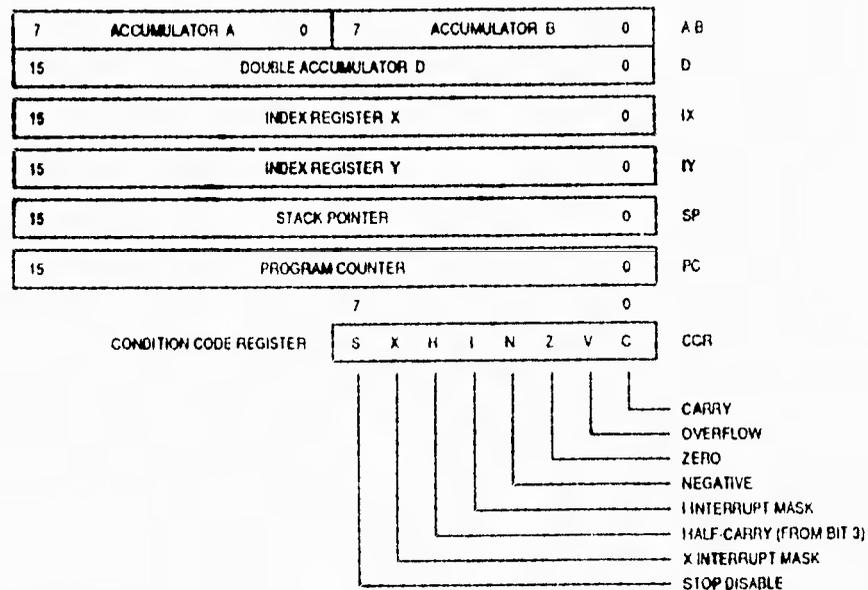


Fig. 4.22 Tabla de registros que puede emplear el programador

#### 4.3.2.2 MAPA DE MEMORIA

Después de oprimir el reset o al encender la fuente, el sistema detectará lo que hay en los pines MOD A y MOD B. Esto define no sólo el modo de operación, sino que implica la fijación de un mapa de memoria determinado.

Los diferentes mapas de memoria se indican en la figura 4.23.

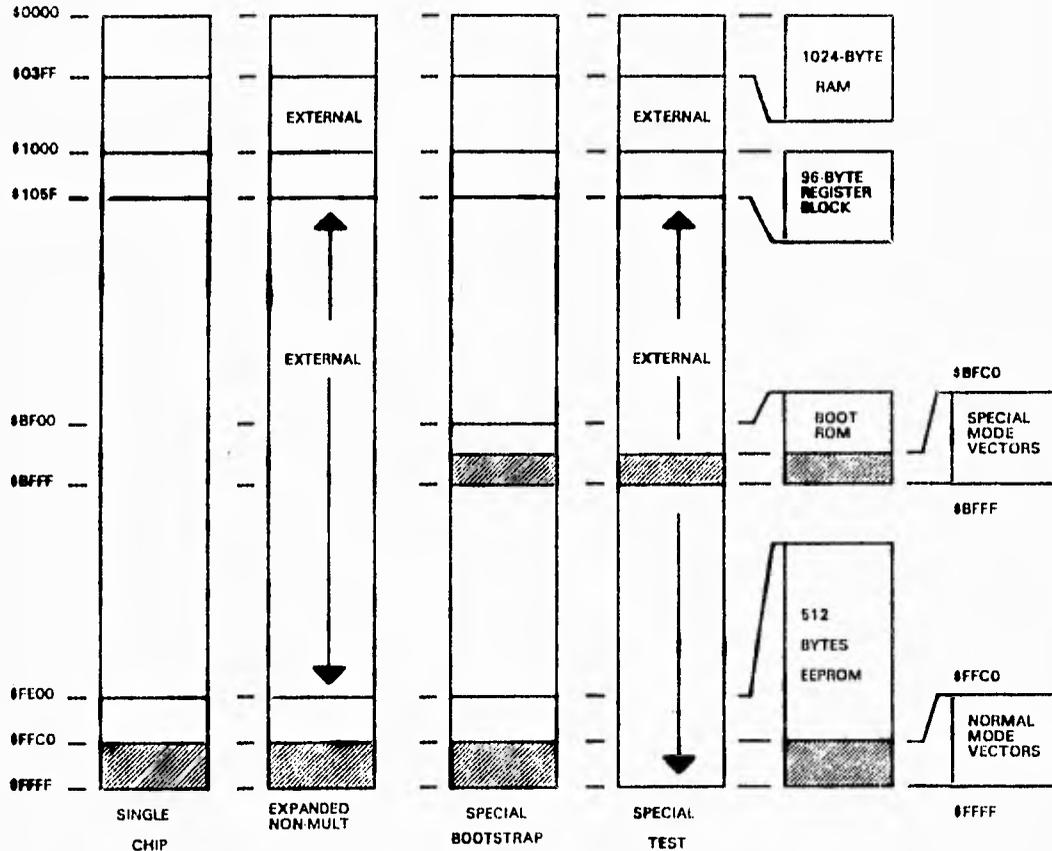


Fig. 4.23 Mapas de memoria para los diferentes modos de operación

Pondremos una atención especial al bloque de 96 bytes donde están los registros.

Como vamos a emplear el puerto A y el puerto B en este trabajo, es necesario saber que el HC11 ve los puertos como si fueran localidades de memoria. Esto implica que tienen una dirección de memoria. Estas direcciones se enlistan a continuación:

Dirección del puerto A = \$ 1000

Dirección de programación del puerto A = \$ 1001

Dirección del puerto B = \$ 1004

**Nota:** El puerto B es sólo de salida y no hay dirección alguna para programarlo.

También en este trabajo emplearemos el puerto E como convertidor analógico digital, pero se dedicará atención especial a esta función en el punto 4.3.2.3.

#### 4.3.2.3 CONVERTIDOR A/D DEL HC11

Como en nuestro trabajo vamos a emplear el convertidor A/D, se dará a continuación una breve explicación acerca de su funcionamiento.

De los registros de control que existen, algunos se requieren para el funcionamiento del A/D y son los siguientes:

ADCTL - \$1030      ADR1 - \$1031 . . . ADR4 - \$1034

OPTION - \$1039

El registro ADCTL tiene los siguientes bits de control:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
CCF	0	SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA

**Significado de los bits:**

**CCF - bandera de conversión completa**

**1 - cuando se han completado cuatro conversiones**

**0 - cuando el registro ADCTL se escribe**

**Bit 6 - no tiene función**

**SCAN - control de barrido continuo**

**0 - hacer cuatro conversiones y se detiene**

**1 - realizar cuatro conversiones de un grupo  
continuamente**

**MULT - control de varios canales / un sólo canal**

**0 - conversión de un canal elegido**

**1 - conversión de cuatro canales de un grupo**

**Nota:** El convertidor A/D del HC11 es de ocho canales, pero sólo puede hacer 4 conversiones por "grupo" siendo un grupo un conjunto de 4 canales.

**CD-CA - canal seleccionado**

Se pueden tener 16 combinaciones. En este trabajo se pondrán CD a CA en cero para escoger el canal AN0 y el ADR1. Más información acerca de estas combinaciones se puede encontrar en el "Manual de Referencia" del HC11 de Motorola.

El registro OPTION tiene los siguientes bits de control:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	bit 0
ADPU	CSEL	IRQE	DLY	CME	0	CR1	CR0

En nuestra aplicación sólo requerimos conocer la operación de los bits ADPU y CSEL.

**ADPU** - encendido de convertidor A/D

Este bit sirve para que el HC11 designe su puerto E como entrada analógica y no como entrada digital.

0 - A/D desactivado

1 - A/D encendido

**CSEL** - Selección de reloj

Si el reloj "E" del HC11 es muy lento, existe la posibilidad de aplicarle al A/D una señal de reloj basada en un circuito RC interno.

0 - A/D emplea el reloj "E"

1 - A/D emplea el oscilador RC interno como reloj

En nuestra aplicación se puede emplear el reloj "E" , ya que al instalar un cristal de 8 MHz, el reloj "E" es de 2 MHz, que es suficiente como señal de reloj para el convertidor A/D del HC11.

Es importante destacar que para que opere correctamente el

convertidor, hay que aplicar los voltajes de referencia máximo (VRH) y mínimo (VRL). VRH debe de ser de 5V y VRL de 0V para tener el máximo rango dinámico de entrada. Por otro lado, la señal analógica que ha de introducirse al HC11, debe de variar entre cero y cinco volts. Esto implica que la señal deberá de ser adaptada mediante etapas de amplificación, atenuación y offsets para que varíe entre dichos valores.

#### 4.3.2.4 UNA MANERA DE ENVIAR PROGRAMAS AL HC11

En el inciso 4.3.2.1, se dieron indicaciones para emplear al circuito como kit de desarrollo. Desde luego, una manera práctica de enviar programas al circuito es mediante el uso adecuado de las herramientas comerciales de software. Sin embargo, aquí se presenta un programa en BASIC que puede servir de herramienta cuando no se tiene un software apropiado.

El programa básico de transmisión de datos se enlista a continuación.

#### PROGRAMA DE BAJADA DE DATOS EN GW BASIC

```
10 OPEN "COM1:1200,N,8,,RS,CS,DS,CD,LF" AS#1
15 B$=CHR$(255)
20 PRINT#1,B$;
30 FOR I=0 TO [numero de bytes]
40 READ A
45 B$=CHR$(A)
50 PRINT#1,B$;
```

```
60 NEXT I
70 DATA [bytes en decimal]
```

Finalmente para concluir esta sección, podemos decir que en base a los conocimientos elementales mencionados en este capítulo, es como se desarrolló el programa de microcontrolador para esta tesis, sin emplear las herramientas comerciales para HC11.

Ahora, es posible pasar a la penúltima fase de nuestro diseño que es el software de control de nuestro sistema.

#### **4.3.3 PROGRAMACION PARA EL CORRECTOR AUTOMATICO DE AZIMUT**

##### **4.3.3.1 ALGORITMO**

Los pasos a seguir para la corrección del azimut son los siguientes:

Paso 1: Esperar la indicación de inicio de proceso.

Paso 2: Si llega dicha indicación continuar. si no, ir a paso 1.

Paso 3: La indicación de inicio de proceso se ha dado. Mover el mecanismo en un sentido predefinido hasta una posición de referencia llamada "posición 1".

Paso 4: Mover el mecanismo paso a paso a partir de la posición 1 hasta la posición  $2n+1$  (donde  $n$  es un número natural), es decir un número impar de posiciones. Para cada posición

tomar una lectura del promedio de frecuencias altas y almacenar en memoria el número de posición en el que se haya obtenido la lectura de más alto valor.

**Paso 5:** Realizar el mismo procedimiento del paso 4, pero moviendo el mecanismo en sentido inverso. Es decir, de la posición  $2n+1$  a la posición 1.

**Paso 6:** Repetir los pasos 4 y 5 hasta completar K barridos.

**Paso 7:** Sumar los números de "posición óptima" obtenidos en el ciclo de K iteraciones formado por los pasos 4 y 5, y dividir la sumatoria entre k. Esto es, obtener la "posición óptima promedio" y almacenarla.

**Paso 8:** Mover el mecanismo desde la "posición de referencia 1" hasta la "posición óptima promedio" y regresar al paso 1.

Como es natural, el algoritmo anterior involucra varios bytes de programación por cada paso. En el siguiente subtema se analizará dicho algoritmo empleando un diagrama de flujo un poco más detallado.

#### 4.3.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo que se mostrará a continuación involucra unas variables, que más tarde (al escribir el programa en ensamblador), serán direcciones de memoria dentro del HC11.

Dichas variables tendrán los siguientes significados:

BIP = Bit de inicio de proceso

BPI = Bit de posición inicial

(J) = Número de barrido

PO = Posición del mecanismo

V = Lectura del convertidor A/D

PO(J) = Posición óptima del barrido J

POP = Posición óptima promedio

Las figuras 4.24 a 4.28, representan, por funciones, el diagrama de flujo de nuestro sistema.

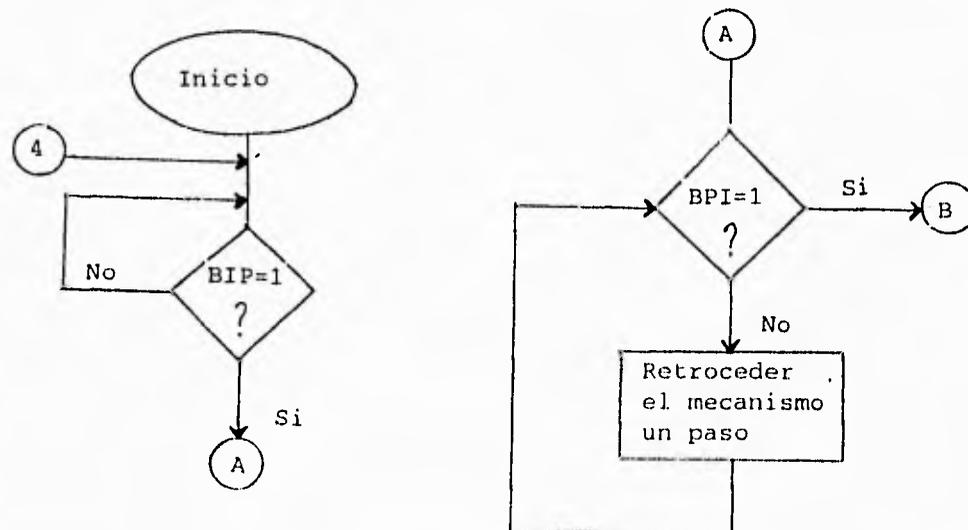


Fig. 4.24 Movimiento del mecanismo para alcanzar la posición de referencia. Información acerca del movimiento del motor de pasos, se encontrará en la sección "notas complementarias".

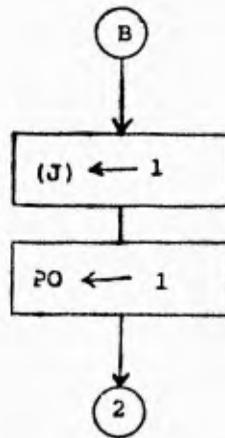


Fig. 4.25 Inicialización de las variables (J) y PO

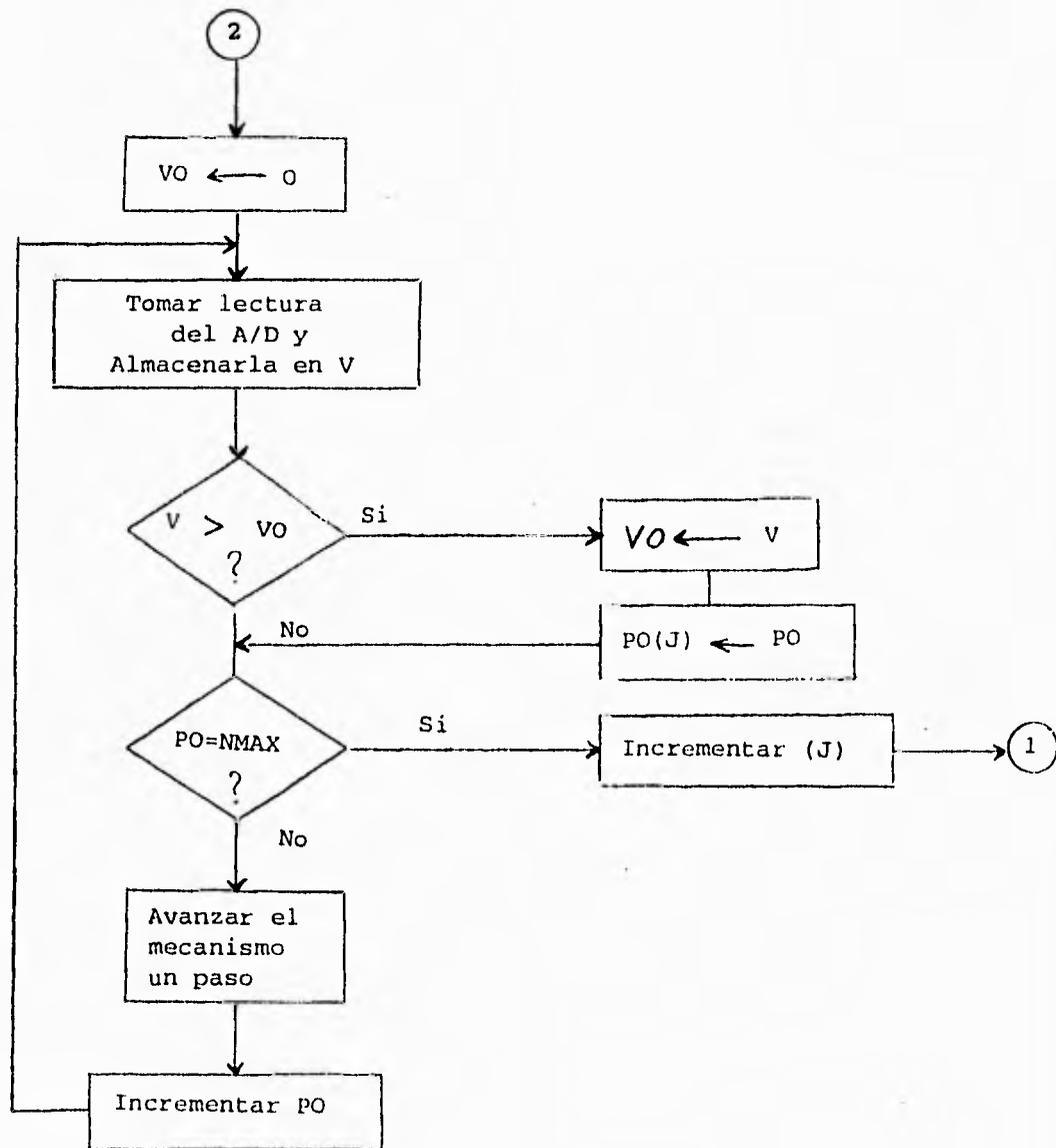


Fig. 4.26 Obtención de la posición óptima en un barrido de avance

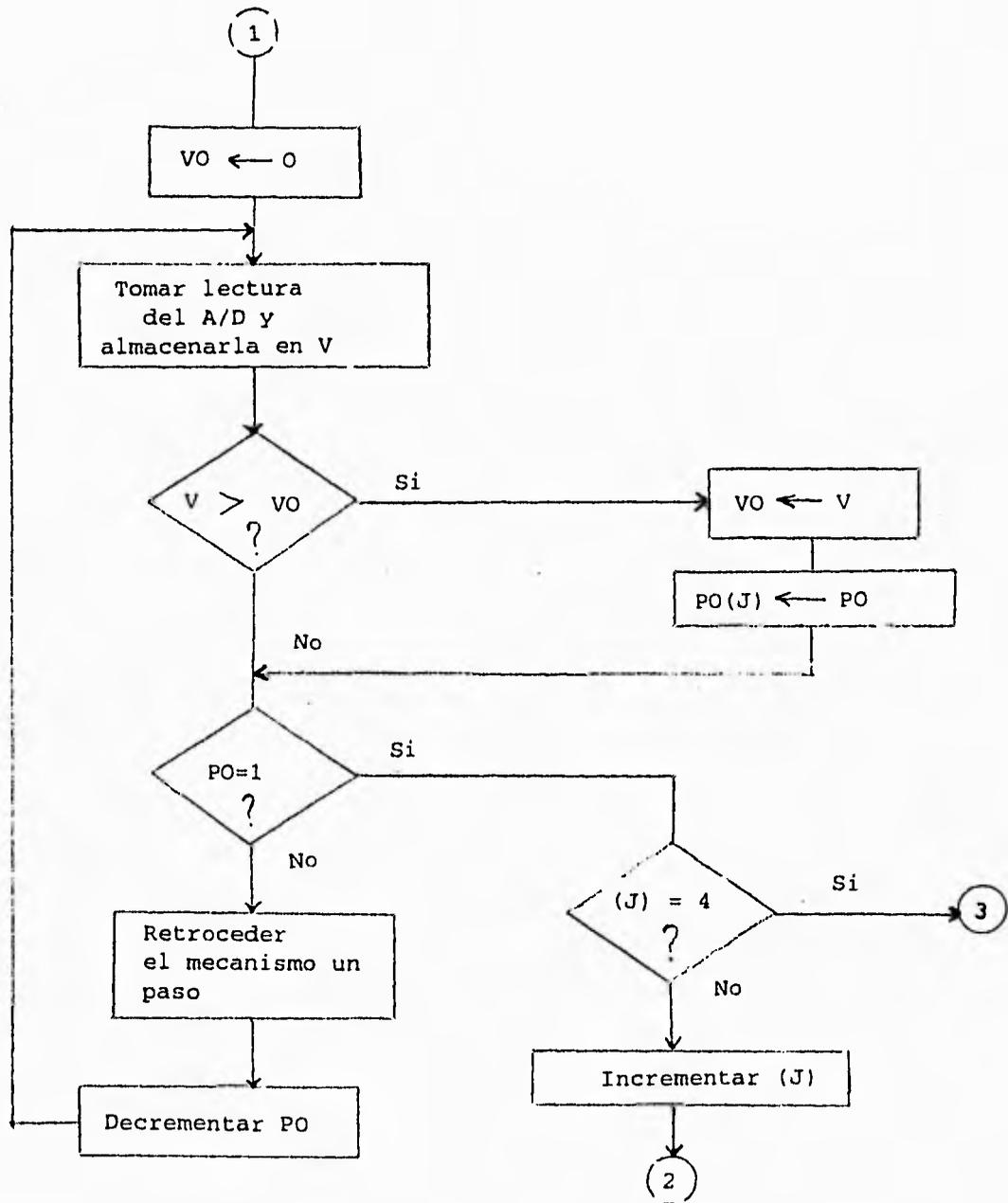


Fig. 4.27 Obtención de la posición óptima en un barrido de retroceso

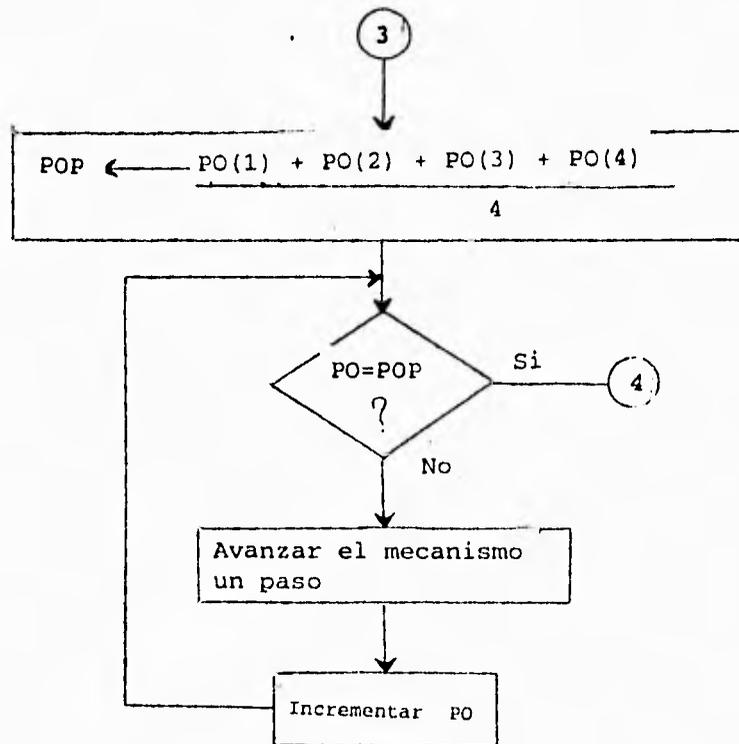


Fig. 4.28 Obtención de la posición óptima promedio "POP" y movimiento del mecanismo hasta dicha posición

Como nota adicional al diagrama de flujo presentado, hay que aclarar que con esta secuencia se realizarán cuatro barridos; dos hacia un sentido y dos hacia otro sentido del movimiento del mecanismo.

El programa para HC11 que realiza este procedimiento, se fue

construyendo por bloques y se mostrará en la siguiente sección.

**4.3.3.3 PROGRAMA PARA EL HC11 QUE REALIZA LA  
CORRECCION DEL AZIMUT**

En las próximas 4 páginas se presenta la versión del programa para EEPROM del HC11. Para que funcione es necesario conectar el Tx con el Rx de HC11.

DIR.	CODIGO	NEMONICO	COMENTARIOS
FE00	ORG	\$FE00	
FE00	867E	LDAA #\$7E	PREPARA SALTO EN CASO
FE02	97EE	STAA \$EE	DE BIT DE INICIO DE
FE04	8600	LDAA #00	PROCESO
FE06	97EF	STAA \$EF	
FE08	8623	LDAA #\$23	
FE0A	97F0	STAA \$F0	
FE0C	860F	GAMMA: LDAA #\$0F	RUTINA DE FRENO DE MOTOR
FE0E	B71001	STAA \$1001	
FE11	8601	LDAA #\$01	
FE13	B71000	STAA \$1000	
FE16	0C	CLC	
FE17	0E	CLI	
FE18	B71004	ALFA: STAA \$1004	RUTINA "BIT GIRATORIO" QUE
FE1B	CE3FFF	LDX #\$3FFF	INDICA OPERACION
FE1E	BDFEEA	JSR DELAY	CORRECTA DEL SISTEMA
FE21	49	ROLA	
FE22	20F4	BRA ALFA	
FE24	0C	CLC	
FE25	8611	LDAA #\$11	
FE27	B71000	BETA: STAA \$1000	
FE2A	B61000	LDAA \$1000	
FE2D	C480	ANDB #\$80	PREGUNTA POR BIT DE
FE2F	2709	BEQ SR	POSICION UNO (RUTINA DE
FE31	49	ROLA	BUSQUEDA DE POSICION DE
FE32	CE07FF	LDX #\$07FF	REFERENCIA)
FE35	BDFEEA	JSR DELAY	
FE38	20ED	BRA BETA	
FE3A	36	SR: PSHA	AQUI INICIA FORMALMENTE
FE3B	07	TPA	EL PROGRAMA DE INTERES
FE3C	36	PSHA	
FE3D	C601	LDAB #\$01	
FE3F	7F02FF	CLR \$02FF	
FE42	7F0300	CLR \$0300	
FE45	18CE0301	LDY #\$0301	PREPARACION DEL PUERTO E
FE49	8690	LDAA #\$90	COMO CONVERTIDOR A/D
FE4B	B71039	STAA \$1039	
FE4E	8630	LDAA #\$30	
FE50	B71030	STAA \$1030	
FE53	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FE56	BDFEEA	JSR DELAY	
FE59	7C02FF	ASTER: INC \$02FF	
FE5C	B602FF	LDAA \$02FF	
FE5F	8102	CMPA #\$02	
FE61	2202	BHI SR2P	
FE63	2003	BRA DELTA	
FE65	7EFEF5	SR2P: JMP SR2	
FE68	B61030	DELTA: LDAA \$1030	RUTINA DE BARRIDO HACIA
FE6B	8480	ANDA #\$80	LA DERECHA

DIR.	CODIGO	NEMONICO	COMENTARIOS
FE6D	27F9	BEQ DELTA	
FE6F	B61031	LDAA \$1031	lectura de voltaje
FE72	B10300	CMPA \$0300	pregunta si la lectura es mejor
FE75	221B	BHI EPSILON	que la anterior
FE77	5C	LAMBDA: INCB	
FE78	CIFE	CMPB #\$FE	
FE7A	221E	BHI THETA	
FE7C	32	PULA	
FE7D	06	TAP	
FE7E	32	PULA	
FE7F	37	PSHB	
FE80	C603	LDAB #\$03	
FE82	46	LOOP1: RORA	movimiento del motor un paso
FE83	CE1FFF	LDX #\$1FFF	hacia la derecha
FE86	BDFEEA	JSR DELAY	
FE89	5A	DECB	
FE8A	26F6	BNE LOOP1	
FE8C	33	PULB	
FE8D	36	PSHA	
FE8E	07	TPA	
FE8F	36	PSHA	
FE90	20D6	BRA DELTA	
FE92	B70300	EPSILON: STAA \$0300	
FE95	18E700	STAB \$00,Y	actualiza posición óptima
FE98	20DD	BRA LAMBDA	de éste barrido
FE9A	1808	THETA: INY	
FE9C	7F0300	CLR \$0300	
FE9F	C6FE	LDAB #\$FE	
FEA1	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FEA4	BDFEEA	JSR DELAY	
FEA7	B61030	DELTAP: LDAA \$1030	RUTINA DE BARRIDO HACIA
FEAA	8480	ANDA #\$80	LA IZQUIERDA
FEAC	27F9	BEQ DELTAP	
FEAE	B61031	LDAA \$1031	lectura de voltaje
FEB1	B10300	CMPA \$0300	pregunta si la lectura es mejor
FEB4	221C	BHI EPSILONP	que la anterior
FEB6	5A	LAMBDA: DECB	
FEB7	2721	BEQ THETAP	
FEB9	32	PULA	
FEBA	06	TAP	
FEBB	32	PULA	
FEBC	37	PSHB	
FEBD	C603	LDAB #\$03	
FEBF	49	LOOP2: ROLA	movimiento del motor un paso
FEC0	B71000	STAA \$1000	hacia la izquierda
FEC3	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FEC6	BDFEEA	JSR DELAY	
FEC9	5A	DECB	
FECA	26F3	BNE LOOP2	

DIR.	CODIGO	NEMONICO	COMENTARIOS
FE6D	27F9	BEQ DELTA	
FE6F	B61031	LDAA \$1031	lectura de voltaje
FE72	B10300	CMPA \$0300	pregunta si la lectura es mejor
FE75	221B	BHI EPSILON	que la anterior
FE77	5C	LAMBDA: INCB	
FE78	C1FE	CMPB #\$FE	
FE7A	221E	BHI THETA	
FE7C	32	PULA	
FE7D	06	TAP	
FE7E	32	PULA	
FE7F	37	PSHB	
FE80	C603	LDAB #\$03	
FE82	46	LOOP1: RORA	movimiento del motor un paso
FE83	CE1FFF	LDX #\$1FFF	hacia la derecha
FE86	BDFEEA	JSR DELAY	
FE89	5A	DECB	
FE8A	26F6	BNE LOOP1	
FE8C	33	PULB	
FE8D	36	PSHA	
FE8E	07	TPA	
FE8F	36	PSHA	
FE90	20D6	BRA DELTA	
FE92	B70300	EPSILON: STAA \$0300	
FE95	18E700	STAB \$00,Y	actualiza posición óptima
FE98	20DD	BRA LAMBDA	de éste barrido
FE9A	1808	THETA: INY	
FE9C	7F0300	CLR \$0300	
FE9F	C6FE	LDAB #\$FE	
FEA1	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FEA4	BDFEEA	JSR DELAY	
FEA7	B61030	DELTAP: LDAA \$1030	RUTINA DE BARRIDO HACIA
FEAA	8480	ANDA #\$80	LA IZQUIERDA
FEAC	27F9	BEQ DELTAP	
FEAE	B61031	LDAA \$1031	lectura de voltaje
FEB1	B10300	CMPA \$0300	pregunta si la lectura es mejor
FEB4	221C	BHI EPSILONP	que la anterior
FEB6	5A	LAMBDA: DECB	
FEB7	2721	BEQ THETAP	
FEB9	32	PULA	
FEBA	06	TAP	
FEBC	32	PULA	
FEBC	37	PSHB	
FEBC	37	PSHB	
FEBD	C603	LDAB #\$03	
FEBF	49	LOOP2: ROLA	movimiento del motor un paso
FEC0	B71000	STAA \$1000	hacia la izquierda
FEC3	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FEC6	BDFEEA	JSR DELAY	
FEC9	5A	DECB	
FECA	26F3	BNE LOOP2	

DIR.	CODIGO	NEMONICO	COMENTARIOS
FECB	33	PULB	
FECD	36	PSHA	
FECE	07	TPA	
FECF	36	PSHA	
FED0	20D5	BRA DELTAP	
FED2	B70300	EPSILONP: STAA \$0300	
FED5	18E700	STAB \$00,Y	actualiza posición óptima
FED8	20DC	BRA LAMBDA P	de éste barrido
FEDA	1808	THETAP: INY	
FEDC	7F0300	CLR \$0300	
FEDF	C601	LDAB #\$01	
FEE1	CE1FFF	LDX #\$1FFF	
FEE4	BDFEEA	JSR DELAY	
FEE7	7EFE59	JMP ASTER	
FEEA	09	DELAY: DEX	RUTINA DE RETRASO USADA
FEEB	26FD	BNE DELAY	PARA DIVERSAS FUNCIONES
FEED	39	RTS	
FEEE	01	NOP	
FEEF	01	NOP	
FEF0	01	NOP	
FEF1	01	NOP	
FEF2	01	NOP	
FEF3	01	NOP	
FEF4	01	NOP	
FEF5	CE1FFF	SR2: LDX #\$1FFF	
FEF8	BDFEEA	JSR DELAY	
FEFB	B60304	LDAA \$0304	REUBICACION DE POSICIONES
FEFE	B70308	STAA \$0308	OPTIMAS OBTENIDAS POR
FF01	B60303	LDAA \$0303	COMPARACION DE LOS
FF04	B70306	STAA \$0306	VALORES LEIDOS POR EL
FF07	B60302	LDAA \$0302	CONVERTIDOR A/D EN
FF0A	B70304	STAA \$0304	LOS BARRIDOS
FF0D	B60301	LDAA \$0301	
FF10	B70302	STAA \$0302	
FF13	7F0301	CLR \$0301	
FF16	7F0303	CLR \$0303	
FF19	7F0305	CLR \$0305	
FF1C	7F0307	CLR \$0307	
FF1F	FC0301	LDD \$0301	
FF22	F30303	ADDD \$0303	RUTINA DE OBTENCION DEL
FF25	F30305	ADDD \$0305	VALOR PROMEDIO
FF28	F30307	ADDD \$0307	DE POSICION OPTIMA
FF2B	CE0004	LDX #\$0004	
FF2E	02	DIV	
FF2F	8F	XGDX	
FF30	17	TBA	
FF31	B70300	STAA \$0300	
FF34	C601	LDAB #\$01	
FF36	F10300		ETHA. CMPB \$0300

DIR.	CODIGO	NEMONICO	COMENTARIOS
FF39	271A	BEQ MU	
FF3B	32	PULA	
FF3C	06	TAP	
FF3D	32	PULA	
FF3E	37	PSHB	
FF3F	C603	LDAB #S03	
FF41	46	LOOP3: RORA	RUTINA DE COLOCACION DEL
FF42	B71000	STAA \$1000	MECANISMO EN LA
FF45	CE1FFF	LDX #S1FFF	POSICION OPTIMA PROMEDIO
FF48	BDFEEA	JSR DELAY	
FF4B	5A	DECB	
FF4C	26F3	BNE LOOP3	
FF4E	33	PULB	
FF4F	36	PSHA	
FF50	07	TPA	
FF51	36	PSHA	
FF52	5C	INCB	
FF53	20E1	BRA ETHA	
FF55	32	MU: PULA	
FF56	06	TAP	
FF57	32	PULA	
FF58	0E	CLI	
FF59	3B	RTI	REGRESA A PREGUNTAR POR BIT DE INICIO DE PROCESO

## LISTA DE ETIQUETAS

ALFA	FE18
ASTER	FE59
BETA	FE27
DELAY	FEEA
DELTA	FE68
DELTAP	FEA7
EPSILON	FE92
EPSILONP	FED2
ETHA	FF36
GAMMA	FE0C
LAMBDA	FE77
LAMBDA P	FEB6
LOOP1	FE82
LOOP2	FEBF
LOOP3	FF41
MU	FF55
SR	FE3A
SR2	FEF5
SR2P	FE65
THETA	FE9A
THIETAP	FEDA

Para concluir este capítulo, se presentará un diagrama completo del circuito y notas complementarias.

#### **4.4 DIAGRAMA FINAL Y NOTAS COMPLEMENTARIAS**

Con esta parte del trabajo, se concluye el diseño del sistema para pasar posteriormente a las conclusiones.

##### **4.4.1 DIAGRAMA FINAL**

Sin más preámbulos presento en las figuras 4.29a, 4.29b, 4.29c, 4.29d, y 4.29e, el diagrama final de este diseño.

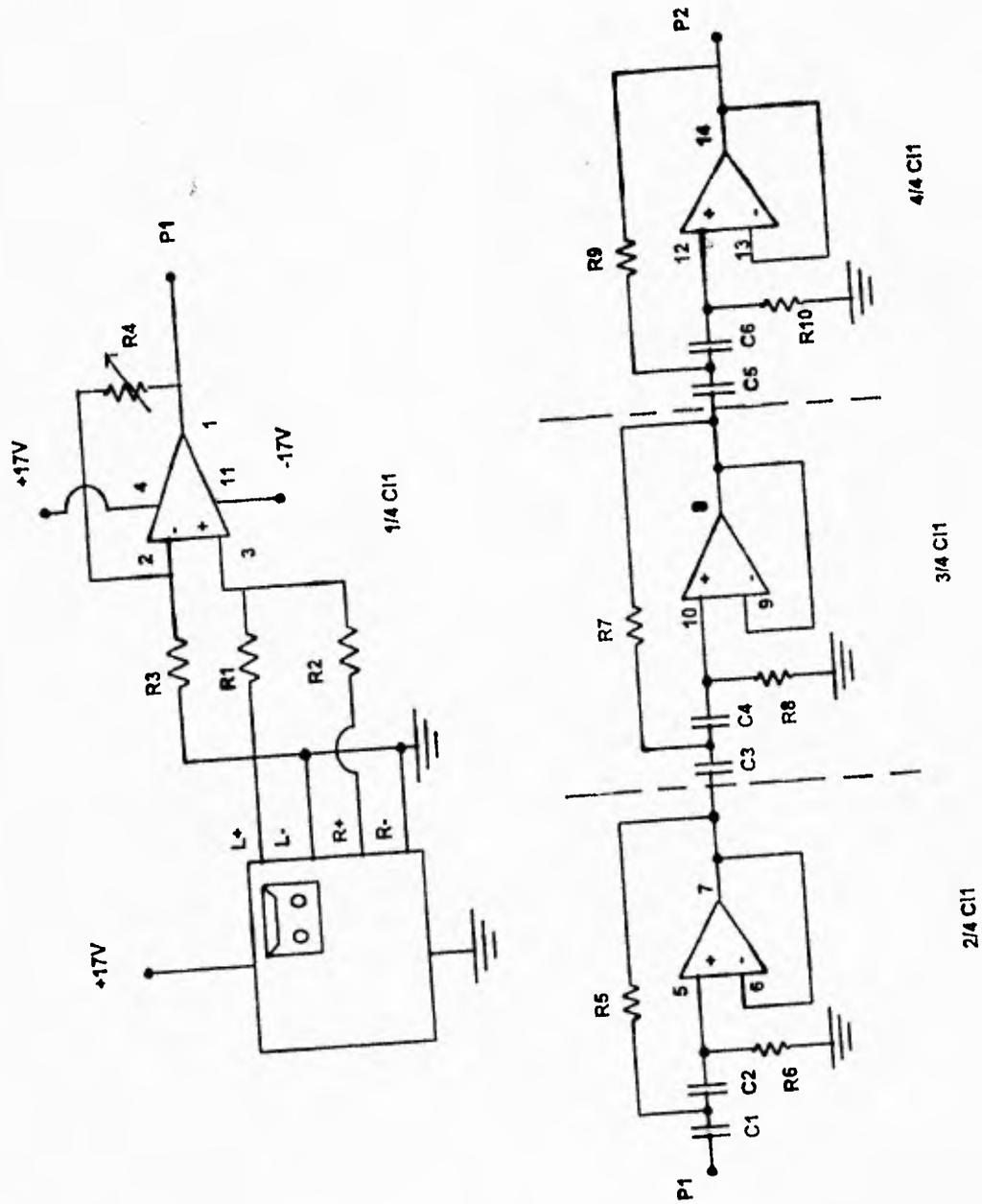


Fig. 4.29a Sumador y Filtro pasa altas de tercer orden

Fig. 4.29b Promediador y adaptación de señal

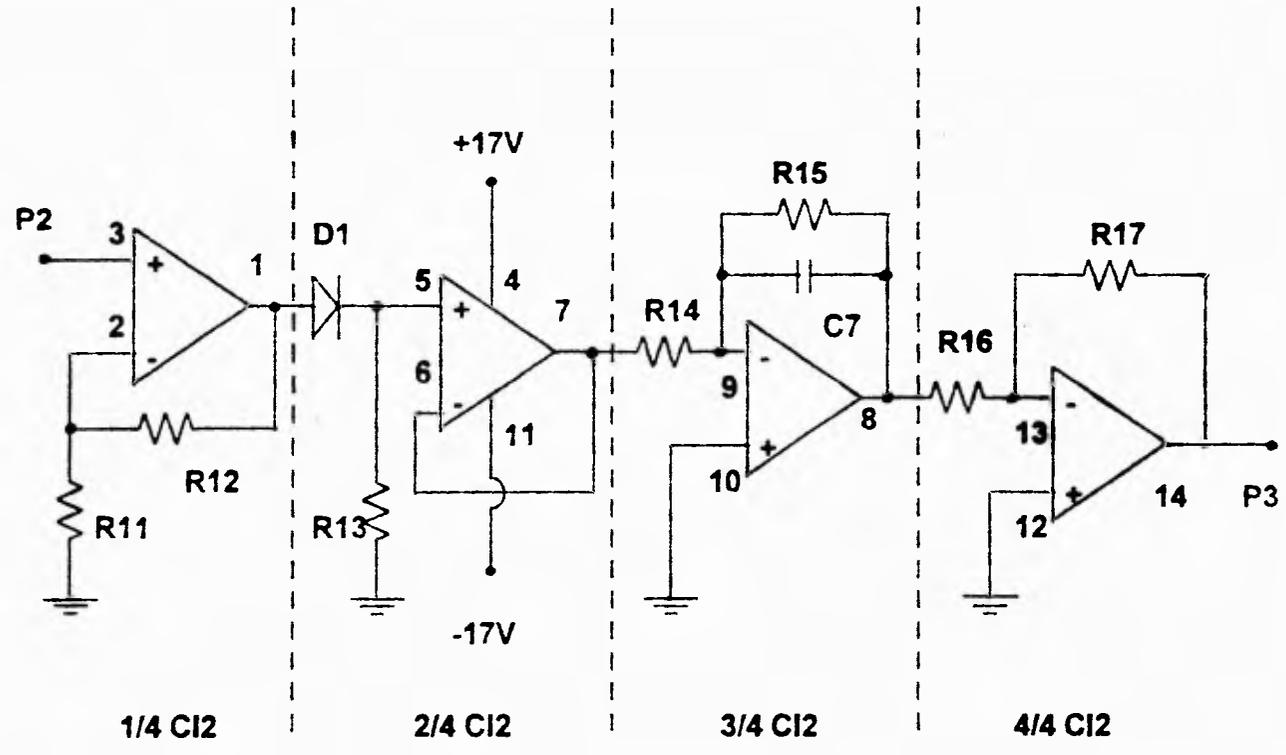




Fig. 4.29d Conexión del MAX 232 (CI4)

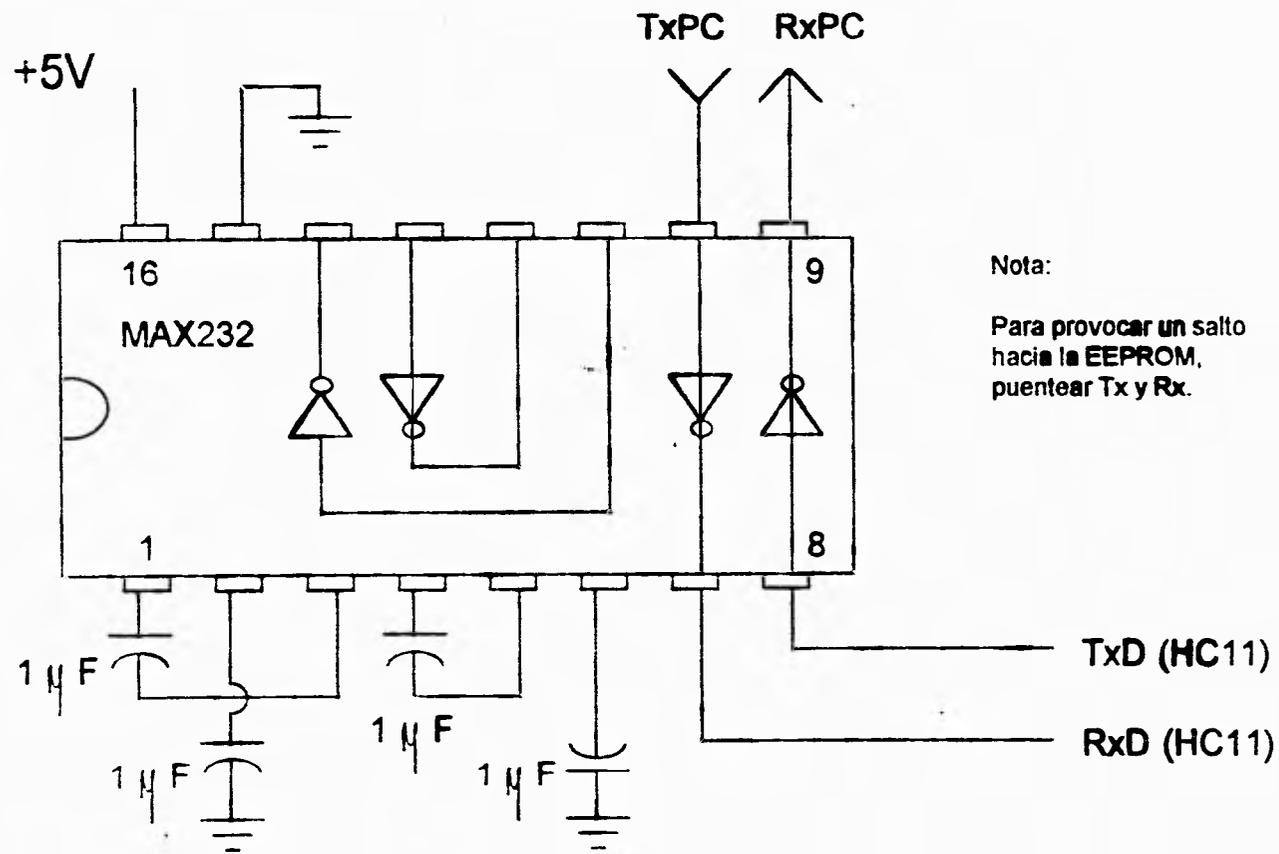
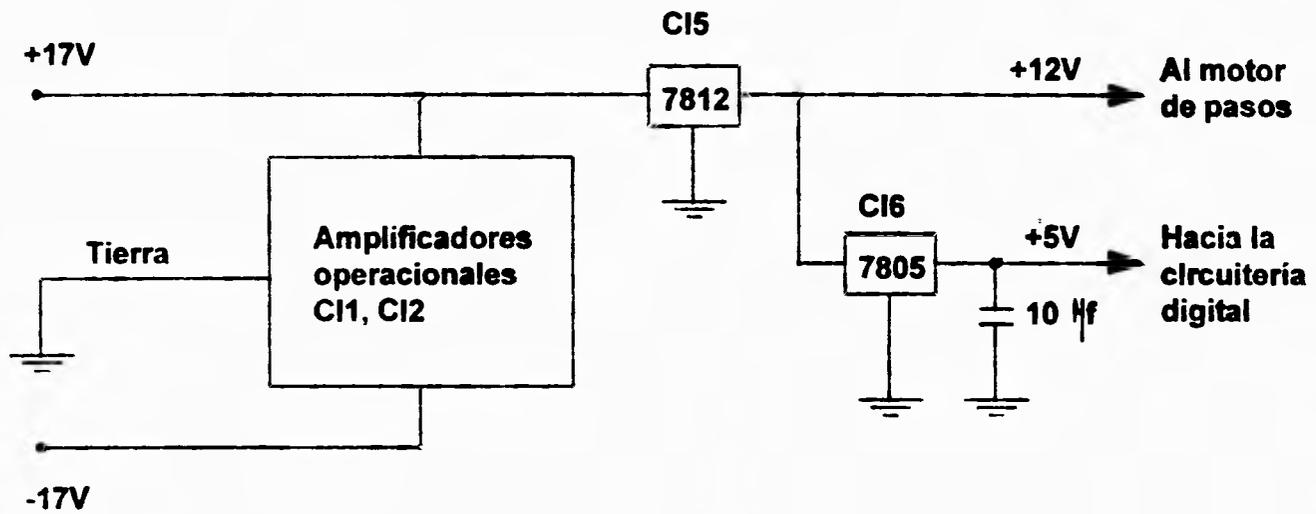


Fig. 4.29e Alimentación



## Lista de valores del diagrama final:

Nota: Todos los valores de las resistencias están en ohms y los valores de los capacitores están en Farads.

## Resistores:

R = 1k 1	R = 100k 2	R = 470 23	R = 470 34
R = 1k 2	R = 220 13	R = 470 24	R = 470 35
R = 1k 3	R = 1k 14	R = 1k 25	R = 470 36
R = 250k 4	R = 10k 15	R = 1k 26	R = 4.7k 37
R = 920 5	R = 4.7k 16	R = 1k 27	R = 4.7k 38
R = 12k + 220 6	R = 1k 17	R = 1k 28	R = 10k 39
R = 2.2k 7	R = 10M 18	R = 470 29	R = 10k 40
R = 1.2k + 3.3k 8	R = 4.7k 19	R = 470 30	R = 10k 41
R = 3.3k 9	R = 2.2k 20	R = 470 31	R = 10k 42
R = 1k + 1k + 1k 10	R = 470 21	R = 470 32	R = 10k 43
R = 1k 11	R = 470 22	R = 470 33	R = 10k 44
Resistor del led infrarrojo:			R = 470 45

**Capacitores:**C = 10n, 63v  
1C = 10n, 63v  
2C = 10n, 63v  
3C = 10n, 63v  
4C = 10n, 63v  
5C = 10n, 63v  
6C = 100 , 50v  
7C = 4.7 , 16v  
8C = 18p  
9C = 18p  
10C = 0.1 , 16v  
11**Diodos:**D = 1N4148  
1D = 1N4001  
2D = 1N4001  
3D = 1N4001  
4D = 1N4001  
5**Transistores:**Q = TIP31C  
1Q = TIP31C  
2Q = TIP31C  
3Q = TIP31C  
4Q ,LED 13:  
5Pareja óptica de  
fototransistor, led  
infrarrojo.**Circuitos integrados:** CI1 = TL084, CI2 = TL084

CI3 = MC68HC11F1, CI4= MAX 232

CI5 = 7812, CI6 = 7805

#### **4.4.2 NOTAS COMPLEMENTARIAS**

El propósito de este subinciso del Capítulo 4, es el de dar a conocer algunos detalles que no se indicaron durante el desarrollo del diseño del sistema, debido a que no se consideran de extrema importancia.

##### **4.4.2.1 SENSOR OPTICO**

En el diagrama aparece un sensor óptico del cual no se hizo mención sino hasta este momento. Este es el sensor de posición 1, del que se habló en los diagramas de flujo.

##### **4.4.2.2 EXPLICACION SOBRE EL MOVIMIENTO DEL MOTOR DE PASOS**

Existen diversos tipos de motores de pasos. El empleado aquí pertenece al tipo llamado de "reluctancia variable", denominado así por un fenómeno de variación de flujo magnético presentado durante su movimiento. Hay que mencionar que este tipo de motores son muy comunes y existen varias formas de hacerlos girar.

Veamos este motor como una caja negra con 5 terminales, una de las cuales es un común. Es decir, existe una conexión en estrella aplicada a unas bobinas internas.

Mencionaré dos maneras de alimentar a este tipo de motor.

- a) Código de un solo bit
- b) Código de dos bits

El código de un solo bit, consiste en conectar a Vcc la terminal "común" y dar ceros a las otras terminales corriendo un bit en una palabra de cuatro bits. Este código presenta la ventaja de que hay poco consumo de corriente, pero hay poco par en el movimiento.

El código de dos bits es similar, pero ahora son dos bits los que se aplican al motor. Aquí el par es mayor, pero también es mayor el consumo de corriente.

En este sistema se empleó el código de un solo bit.

Más información sobre motores de paso, se puede ver en las referencias 6 y 16.

#### **4.4.2.3 ETAPA DE POTENCIA DEL MOTOR DE PASO**

La etapa de potencia está formada por los cuatro transistores TIP. La base de cada transistor es excitada, en su momento, por el puerto del HC11 y va saturando al mismo, siendo la carga cada una de las bobinas del motor de pasos. Los diodos son empleados para evitar altas

tensiones.

#### **4.4.2.4 FUENTE DE PODER**

Está formada por dos reguladores 7812 y 7805. El sistema en su totalidad debe ser alimentado con una fuente bipolar de  $\pm 17V$  DC, ya que el mecanismo de tocacintas se alimenta con un voltaje desde 16V hasta 18V y el motor de pasos se alimenta con  $+12V$ . Los amplificadores operacionales (A.O.) se alimentarán con  $\pm 17V$ , y la circuitería digital se alimentará con  $+5V$ .

En el Capítulo 5, se mostrarán algunas mejoras que puede tener el sistema. Ahí se hablará también de la posibilidad de aplicar este sistema en otro tipo de máquinas que involucren cabezas magnéticas.

## 5. PRUEBAS Y CONCLUSIONES

El tipo de pruebas que pretende realizar cualquier persona que diseña una máquina es la de saber si ésta hace lo que se desea, al menos en forma aproximada.

El sistema de corrección de azimut se probó con un cassette grabado con música popular moderna, que por lo regular se caracteriza por ser "ruidosa". Al decir ruidosa, estamos hablando implícitamente de una música que posee una amplia gama de frecuencias que se presentan aleatoriamente durante periodos prolongados de tiempo.

Primero se instaló el cassette en el reproductor, se oprimió "PLAY", luego se desvió el azimut manualmente hasta que se escuchara muy mal (para hacer esto, se le tiene que quitar la energía al motor de pasos y después se le tiene que volver a poner).

A continuación se oprimió el botón de inicio de proceso y se esperó por el resultado.

Antes de mostrar el resultado, se describirá como opera el equipo.

El equipo se puede ver en tres partes:

- a) Un reproductor de cassettes con un mecanismo claramente adaptado.
- b) Una circuitería con un juego de 8 led's que corren un bit de un extremo a otro y un botón de inicio de proceso.
- c) Un amplificador estereofónico de alta fidelidad y dos baffles.

Cuando se instala un cassette y se pone en play, hay que esperar a que haya sonido.

Si uno duda de que el sonido sea óptimo, se oprime el botón de inicio de proceso y es entonces cuando la maquinita se ve como si fuera un ser vivo cuya misión es encontrar la posición óptima de la cabeza de reproducción.

Lo primero que hace el sistema es mover la cabeza hasta la posición de referencia.

Posteriormente se puede apreciar claramente cómo el sistema inicia una rutina de búsqueda, moviendo relativamente despacio la cabeza de reproducción hacia la izquierda y hacia la derecha, "barriendo todas las posiciones.

Después de realizar 4 barridos (dos hacia la izquierda y dos hacia la

derecha), terminando en la posición de referencia de la cual partió, el mecanismo se sitúa en una posición más o menos al centro del barrido (la posición óptima no tiene que ser al centro necesariamente). Es entonces cuando se aprecia el resultado.

**¡El resultado fue Exitoso!**

Al final del proceso se pudo apreciar claramente un sonido brillante de la música.

Después de esta prueba se realizaron otras pruebas diferentes que se describen a continuación.

#### **5.1 PRUEBAS CON DIFERENTES TIPOS DE MUSICA**

Se hizo la prueba anterior con música clásica, música pop, música electrónica, etc. Se notó que el sistema no responde adecuadamente con música pobre en altas frecuencias sin importar el tipo.

Esto es debido a que el promedio de agudos es tan bajo que del promediador sale un valor casi de cero volts y muy constante.

Esto significa que sería idóneo contar con un amplificador a la entrada del promediador cuya ganancia no sea constante para que se le dé énfasis a las señales de bajo nivel. Prácticamente se está

hablando de la necesidad de un amplificador logarítmico.

## **5.2 TIEMPO DE REALIZACION DEL PROCESO**

Este tiempo se mide a partir de que se oprime el botón de inicio de proceso hasta que se reactive el corrimiento de los bits en los led's indicadores de proceso.

Como el primer paso que realiza el corrector es buscar una "Posición de referencia", el tiempo dependerá de la posición inicial en la que se encuentre la cabeza. Sin embargo, midiendo un tiempo típico con cronómetro en mano, estamos hablando de alrededor de un minuto con veintiseis segundos.

## **5.3 PRUEBA DEL EQUIPO CON GRABACIONES DE BAJA CALIDAD**

El equipo no funcionó con grabaciones de baja calidad.

El equipo corrige el azimut en grabaciones de buena calidad que no se escuchan bien por causa de error de azimut solamente.

## **5.4 NOTAS COMPLEMENTARIAS Y SUMARIO DE CONCLUSIONES**

\* Cuando el equipo está en proceso de corrección introduce un pequeño ruido debido a la conmutación del motor de pasos. Para

perfeccionar el equipo es preciso analizar ese ruido para poder eliminarlo.

- \* Como se vio en el punto 5.1, para mejorar el equipo se requiere de un amplificador logarítmico para que el equipo funcione mejor con señales pobres en altas frecuencias.
- \* El tiempo de un minuto con veintiseis segundos para realizar la corrección, se considera que es un poco grande. Para mejorar dicho tiempo se tienen que hacer dos cosas:
  - a) Disminuir el número de posiciones de un barrido.
  - b) Aumentar la velocidad de barrido.

Esto implica modificar algunas constantes del programa.

- \* Hay una forma opcional de realizar la corrección de una manera muy precisa y rápida que podría hacerse con este mismo método, si todas las grabadoras registraran un "Tono Modelo" al principio de la cinta.

Finalmente, se puede afirmar que en un gran número de grabaciones, el equipo realiza la corrección con éxito y que se ha comprobado la aplicabilidad del método de corrección automática del azimut por

detección de altas frecuencias. Por lo tanto, la tesis ha cumplido con su objetivo.

Para terminar, es importante recalcar que con ligeras modificaciones el equipo puede ser empleado para procesos de video y de lectura de información digital, ya que el concepto de lectura magnética en cualquiera de sus aplicaciones involucra necesariamente el concepto de azimut, el cual desde el punto de vista de la lectura magnética es inevitablemente de carácter analógico.

**B I B L I O G R A F I A****LIBROS:**

1. Oseguera V., Urbano  
Medina Nicolau, Francisco  
ELECTROMAGNETISMO  
Asociación Nacional de Universidades  
de Enseñanza Superior  
México, 1980
2. Stollberg, Robert  
Hill, Faith Fitch  
FISICA, FUNDAMENTOS Y FRONTERAS  
Publicacions Cultural, S.A.  
México, 1977
3. Graeme, Jerald G.  
Tobey, Gene E.  
Huelsman, Lawrence P.  
OPERATIONAL AMPLIFIERS, DESIGN  
AND APPLICATIONS  
McGraw-Hill  
International Edition, 1986
4. Coughlin, Robert F.  
Driscoll Frederick F.  
CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES Y  
AMPLIFICADORES OPERACIONALES  
Prentice-Hall  
México, 1987
5. Malvino, Albert Paul  
PRINCIPIOS DE ELECTRONICA  
McGraw-Hill  
México, 1985
6. López Aparicio, David  
ELECTRONICA  
ENCICLOPEDIA PRACTICA  
TOMOS III y IV  
Ediciones Nuevalnte  
Madrid, 1982
7. Thermaine, Howard M.  
THE AUDIOCYCLOPEDIA  
Howard W. Sams  
Indianapolis, 1969

8. Snel, D. A.  
REGISTRO MAGNETICO DEL SONIDO  
Biblioteca Técnica  
PHILIPS (Holanda)  
Derechos de Edición en español  
Paraninfo  
Madrid, 1961
9. Olson, Harry Ferdinand  
Van Nostrand, Reinhold  
Modern Sound Reproduction  
New York, 1971

**MANUALES:**

10. Varios autores  
MANUAL DE ALTA FIDELIDAD Y  
SONIDO PROFESIONAL  
Marcombo, Boixareu Editores  
Barcelona, 1981
11. Autores varios  
AUDIO HANDBOOK  
National Semiconductor Corp.  
U.S.A., 1977
12. Motorola (autores no especificados)  
LINEAR/INTERFACE ICs  
Vol. I, II  
Motorola Inc.  
U.S.A., 1990
13. Motorola (autores no especificados)  
FAST and LS TTL Data  
Motorola Inc.  
U.S.A., 1992
14. Motorola (autores no especificados)  
M68HC11 REFERENCE MANUAL  
Motorola Inc.  
U.S.A., 1991

**REVISTAS:**

15. Automobile Revue  
Juin, 1985  
Paris (France)
16. Saber ELECTRONICA  
Editorial Saber  
Año 1, No. 1  
Uruguay, 1990
17. Saber ELECTRONICA  
Editorial Saber  
Año 2, No. 13  
Uruguay, 1991
18. Transaction on Magnetism  
IEEE  
Noviembre, 1988

**VARIOS:**

19. System 210  
Installation and Troubleshooting Guide  
DELL Computer Corporation, 1990
20. Compact Hi-Fi Stereo System XO-D201  
Operating Instructions  
Sony Corporation, 1989
21. Propaganda: Sony EF60 Compact Cassette  
Sony Corporation, Japan  
ACS 0097-90/03 CS
22. Filtros Activos: Análisis y Diseño  
Salvá Calleja, Antonio Ing.  
Sánchez Esquivel, Victor M. Ing.  
No editado
23. Software: Manejador "PUMA" para MC68HC11F1 y  
MC68HC11A1.  
Salvá, Antonio Ing.  
De uso académico UNAM  
No a la venta
24. Además de artículos de revistas y otros  
libros que no se mencionan por no poseer la  
referencia completa.