

ORIGINAL

UNIVERSIDAD: Universidad Politécnica de Las Palmas.-

TITULO: "Medidas Electroacústicas".-

AUTOR:

Juan A. Caballero Ruano

TUTOR:

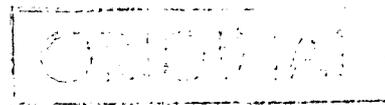
Félix Hernandez Cabrera

Las Palmas de Gran Canaria ,a 20 Junio de 1983 .



0-I N D I C E.-

I-Objeto del trabajo.....	2
II-Introducción.....	4
III-Medidas Electroacústicas.....	23
1.-Respuesta en frecuencia.....	23
1.1.-Respuesta electrónica en frecuencia.....	24
1.2.-Respuesta acústica en frecuencia.....	26
1.2.1.-Medidas en campo libre.....	26
1.2.1.1.-Altavoces.....	26
1.2.1.2.-Microfonos.....	29
1.2.2.-Medidas en locales ordinarios usando técnicas de compuerta.....	31
1.3.-Respuesta de Giradiscos y cápsulas fonocaptoras.....	33
1.4.-Características Direccionales de altavoces.....	36
1.5.-Respuesta a los Impulsos.....	36
2.-Respuesta en fase.....	37
3.-Impedancia Compleja.....	43
4.-Distorsión.....	45
4.1.-Distorsión Armónica.....	46
4.1.1.-Distorsión armónica Total.....	46
4.1.2.-Distorsión armónica Singular.....	47
4.2.-Distorsión de intermodulación.....	50
4.3.-Distorsión de diferencia de frecuencia.....	50
4.4.-Distorsión de intermodulación de transitorios.....	64
5.-Respuesta en frecuencia de las salas reales de audición con ruido aleatorio rosa de 1/3 de octava.....	66



6.-Tiempo de Reverberación.....	69
IV-Instrumentos utilizados.....	73
1.-Sonómetro.....	74
2.-Unidad de Prueba de Respuesta(U.P.R.).....	77
3.-Discos de Prueba(D.P.).....	81
4.-Unidad de Control de Medición de Distorsión(U.M.D.)...	86
5.-Analizador Heterodino(A.H.).....	91
6.-Grabador de Nivel(G.N.).....	97
7.-Filtro Esclavo Heterodino(F.E.H.).....	102
8.-Sintonizador de Percusión(S.P.).....	105
9.-Generador Senoidal(G.S.).....	107
10.-Generador Senoidal de Azar(G.S.A.).....	112
11.-Generador de Ruido(G.R.).....	114
12.-Amplificador de Medida(A.M.).....	115
13.-Sistema de Compuerta(S.C.).....	120
14.-Medidor de Lloro y Tremoleo.....	123
15.-Fasímetro.....	126
16.-Unidad de Retraso de Fase(U.R.F.).....	128
17.-Voltímetro.....	130
18.-Analizador de Frecuencia Digital(A.F.D.).....	131
19.-Registrador Digital de Sucesos(R.D.S.).....	133
20.-Amplificador de Potencia(A.P.).....	135
V-Apéndice "A"(Representación gráfica de las medidas).....	137
VI-Apéndice "B"(Diagramas de bloques).....	151
VII-Bibliografía.....	164

ORIGINAL

I-OBJETO DEL TRABAJO

El sonido es tan habitual y necesario en la vida diaria, que nos posibilita la comunicación entre las personas mediante el lenguaje, nos proporciona agradables experiencias en la audición de la música, nos previene de múltiples circunstancias como el timbre del teléfono, la llamada a la puerta, o el daxon de un coche, y hasta nos permite evaluar y diagnosticar el traqueteo de las válvulas de un coche, el chirrido de sus ruedas, o las distorsiones producidas por una cadena de Hi-Fi.

Así, el sonido está definido según la física como una vibración mecánica capaz de producir una sensación auditiva. La física del sonido es una ciencia multidisciplinaria, abarcando entre otras, la acústica fisiológica, psicoacústica, electroacústica, acústica arquitectónica, la acústica musical o la lingüística y la fonética.

De ellas hemos elegido la electroacústica que trata del diseño de los transductores electromecánicos, de las técnicas de conversión mutua de la energía eléctrica en mecánica y de los sistemas de registro y reproducción del sonido.

La medición de los sonidos redundará directamente en el beneficio de la sociedad.

Los datos obtenidos de las distintas mediciones serán esenciales para la mejora de la acústica de edificios, el perfeccionamiento de altavoces, microfones, o equipos de Hi-Fi.

El problema esencial del técnico electroacústico es el elegir las medidas adecuadas para su propósito y valorar los resultados asignados a cada uno la ponderación adecuada.

El realizar las medidas electroacústicas, permitirán el análisis preciso y científico de los sonidos molestos producidos por distintos fenómenos que posteriormente analizaremos.

En conclusión podemos decir que estas medidas serán consideradas como un utensilio con el que en definitiva mejoraremos la calidad de nuestras vidas.

II - INTRODUCCION

La "acústica" se define como la parte o rama de la física que trata con la producción, propagación, recepción, y uso del sonido. Es una de las más viejas ciencias de la física.

Sus raíces históricas se remontan a los antiguos griegos y a culturas más jóvenes. El término "acústica" viene de la palabra griega "akoustikos", que significa "relativo a la audición".

Durante siglos, el hombre ha usado sonidos para hacer música, la cual estriba en la relación entre sonidos. En el siglo (-)6º, el filósofo y matemático griego Pitágoras junto con los Pitagóricos consiguieron establecer las relaciones existentes entre la longitud de las cuerdas vocales y el tono de los sonidos. Se les debe también una de las primeras escalas musicales, y conocida con el nombre de "Pythagorean".

Los Griegos también sabían que el sonido se debía a los choques y al movimiento vibratorio, en sentido cualitativo, de las partículas del aire. Y que una de sus propiedades era la reflexión, lo cual se hace patente en la forma de los teatros griegos y posteriores romanos.

Los Romanos conocían el fenómeno del eco, de la interferencia, y de la reverberación.

Durante la mitad de la época, la acústica, al igual que otras ciencias, estuvo inactiva. Hubo que esperar a Galileo y al francés Marsenne, que determinaron las relaciones matemáti-

cas entre frecuencia, longitud, tensión y masa de las cuerdas vibratorias.

El origen y primer desarrollo de la teoría ondulatoria, según la cual el sonido se propaga por vibraciones longitudinales del medio (y que no se propaga en el vacío), se debieron a Newton y principalmente a Huygens.

La búsqueda teórica en las cuerdas y otros cuerpos vibratorios, como los platillos, se debió a D'Alembert, Bernouilli, Euler, Young y Chladni.

Fourier estudió los fenómenos de interferencia y resonancia, y adquirió el concepto de análisis del sonido. Y Lord Rayleigh estudió principalmente la medida y el estudio de la magnitud física relativa al sonido, como la presión sonora y la velocidad de las vibraciones.

Hasta el siglo XX la acústica se interesaba esencialmente por el estudio del fenómeno físico, y no por los aspectos fisiológicos. A principios de nuestro siglo se introducen los tubos electrónicos; y así fue posible la construcción de los llamados altavoces, micrófonos, amplificadores, registradores de frecuencia acústica y ultraacústica. De ahí nacieron nuevos campos como son la electroacústica o la fonografía.

La acústica actual comprende una amplia variedad de campos como pueden ser:

-ACUSTICA FISICA. Estudia especialmente los fenómenos que se producen durante la propagación del sonido en los diversos medios, sólidos o fluidos. Entre los fenómenos más importantes se encuentran, la reflexión, refracción, resonancia, inter-

ferencia, absorción y difusión. El dominio de frecuencias que abarca son: las "audibles" (20Hz-20KHz), los "infrasonidos" (extremadamente bajas frecuencias), y los "ultrasonidos" (extremadamente altas frecuencias) que pueden ser tan altas como varios billones de ciclos por segundo, y son llamados "hipersonidos". Junto a tales frecuencias altas, el sonido, como la luz, es transmitida en pequeños paquetes de energía llamados "Fonos".

-ACUSTICA MUSICAL. Es la parte de la acústica física relativa al estudio de los sonidos musicales, generalmente sonidos complejos, mas o menos ricos en armónicas.

-ACUSTICA SUBACUATICA. Es la parte de la acústica física que se ocupa de la propagación del sonido y de los ultrasonidos en el agua. Estudia los dispositivos electroacústicos y entre otros los diversos métodos para determinar la profundidad en el agua.

-ACUSTICA ARQUITECTONICA. Es una importante rama de la acústica que trata con la transmisión de las ondas sonoras dentro de salas reverberantes, tales como auditorios, teatros o locales para conciertos.

-ACUSTICA FISIOLOGICA. Es la parte de la acústica que abarca el funcionamiento de los órganos fónicos y auditivos de los seres vivos, y en especial las características físicas de la voz humana y el conjunto de sensaciones y percepciones dependientes del estímulo acústico exterior.

-FONOMETRIA. Es la parte de la acústica que estudia los problemas provocados por el ruido y sus efectos, con el fin de objetivarlos mediante cálculos estadísticos, además del

estudio de protección, y la lucha contra el ruido.

-ACUSTICA TECNICA Y APLICADA. Se ocupa esencialmente de los diversos dispositivos de conversión de señales eléctricas en sonoras y viceversa (altavoces, microfones), de la amplificación, del registro y reproducción del sonido. El estudio de los diversos dispositivos constituye lo que llamamos "electroacústica".

-La acústica también estudia las distintas FUENTES PRIMARIAS del sonido, que producen en un medio una oscilación (onda) elástica no preexistente, o sea que no es la reproducción fiel de una oscilación elástica anterior de igual forma de onda. Las "fuentes primarias" interesan esencialmente como patrones de magnitudes físicas características de la acústica; y son el termófono o fotófono, el pistófono y excitador electrostático.

En rasgos generales la acústica la podemos dividir en dos grandes áreas de estudio:

- La interacción de ondas de sonido con materia física.
- La interacción de ondas de sonido con organismos vivos.

Como hemos visto, la ciencia de la acústica progresa en muchos de estos frentes, el mejor de los cuales está relacionado a importantes necesidades de la sociedad humana. De ahí la idea de salas de concierto y auditorios con mejores condiciones de audición y la mejora de instalaciones de sonido en oficinas y apartamentos, que afectan directamente en el bienestar de muchas personas. También es de resaltar el con-

trol de ruido con la consiguiente reducción de estampido. Las comunicaciones entre personas y máquinas son áreas de rápido crecimiento. Las máquinas que son capaces de "entender" el lenguaje y ejecutar instrucciones verbales juega un gran papel en el presente y futuro de la sociedad humana. Ha habido una profunda modificación conceptual, como por ejemplo, se ha establecido una analogía entre magnitudes acústicas y magnitudes eléctricas, así como entre parámetros característicos de "circuito" acústico y eléctrico, consiguiendo de tal modo expresar la propagación de la energía sonora en una sucesión de medios diversos mediante un circuito "análogo". También se ha extendido dicho método a los dispositivos transductores de energía sonora en eléctrica.

El desarrollo contemporáneo de la ciencia de las comunicaciones y de la electrónica ha puesto de relieve la importancia, en las telecomunicaciones, de la relación señal-ruido, de la longitud de banda espectral, y de la distorsión. La noción de "propagación de la energía sonora" es sustituida por la de "transmisión de una señal", que puede manifestarse de forma sonora, magnética, eléctrica o electromagnética, expresables en términos de circuito y teniendo en común algunas características como pueden ser la intensidad, longitud de onda, fidelidad o cantidad de información transmitida en un tiempo dado.

El último paso en la evolución de la acústica se ha efectuado en el campo fisiológico. La señal exterior se transforma en señal mecánica en el oído medio, que contiene tres

huesecillos enlazados, que son los que transmiten las vibraciones de la membrana al oído interno, siendo este último una cavidad de forma compleja, rellena de líquido, conteniendo las membranas y terminales nerviosos, por los que se detectan los cambios de presión, analizándose y transmitiéndose esta información al nervio acústico. Las características de la audición varían mucho de una persona a otra.

Los sonidos audibles pueden ser: periódicos o pseudoperiódicos (con o sin característica musical); y no periódicos, lo que llamamos ruido (breves o prolongados).

Los sonidos periódicos compuestos se pueden distinguir por su tono, timbre e intensidad. Si la vibración es de carácter rápidamente cambiante sin tono, ni timbre definido se considera ruido.

Para el hombre, la frecuencia fundamental más baja de la voz está alrededor de los 100Hz, y para la mujer en los 250Hz. El oído es capaz de responder a frecuencias comprendidas entre 20Hz y 20000Hz. La impresión sonora propiamente dicha no empieza hasta llegar a la frecuencia de 16Hz, cuando se utiliza para producirlo un diapason que da sonidos casi simples, no alcanzando el carácter musical hasta los 40Hz.

Toda variación de presión (en el aire, en el agua o en cualquier otro medio) que puede ser detectado por el oído humano se llama "sonido". El número de variaciones de presión por segundos se llama "frecuencia" del sonido, que se mide en Hertzios (Hz). La "velocidad" del sonido "real" es de 1224Km/h, y en los estudios científicos se le expresa como 340m/sg. La "longitud

de onda" es la distancia física en el aire desde el vértice de presión de una onda a la siguiente. Cumpliéndose entre ellas la siguiente relación: $\lambda = \frac{v}{f}$.

El sonido más débil que puede detectar un oído humano sano es de 20 μ Pa (micro-pascales), que es un valor 5000.000.000 de veces inferior a la presión atmosférica normal de 1 atm (1 atm = 1 Kg/cm³ = 10 tndas/m²). El oído puede soportar presiones de 1.000.000 veces mayores, pero eso si tuvieramos que medir el sonido en Pa, lo cual implicará utilizar números muy grandes e inmanejables. Para evitarlo se ha desarrollado otra escala, la escala de "decibelios" (dB).

Esta escala de decibelios emplea el umbral de audibilidad de 20 μ Pa como el nivel de presión de referencia; o sea que este punto es el 0 dB. Luego, cada vez que se multiplica el nivel de presión sonora en Pa por 10 equivale a sumar 20 dB al nivel en dB anterior. Los niveles de presión sonora (NPS ó SPL) son:

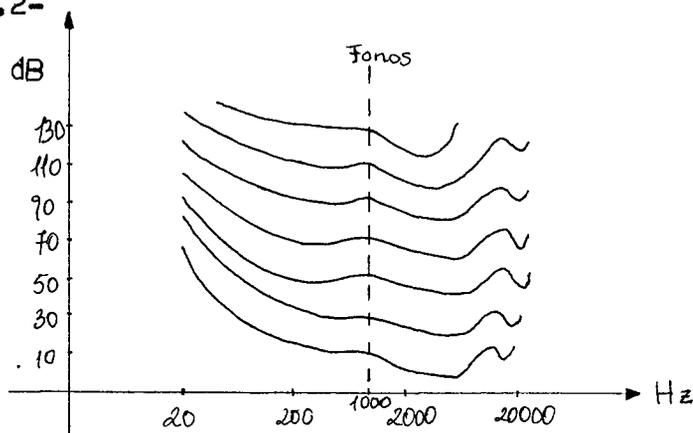
Fig. 1-

μ Pa		dB	
100000000	—	140	--Umbral del dolor
	—	130	
10000000	—	120	--Avion
	—	110	
1000000	—	100	--Taladro
	—	90	
100000	—	80	--Automovil
	—	70	
10000	—	60	--Máquina de escribir
	—	50	
1000	—	40	--Conversación humana
	—	30	
100	—	20	--Canto de un pájaro
	—	10	
20	—	0	Umbral de la audición

Uno de los factores que determinan la sonoridad subjetiva del sonido, es que el oído humano no tiene la misma sensibilidad a todas las frecuencias, presentando la máxima en la zona de 2 a 5KHz y la mínima en la de las bajas y altas frecuencias. Este fenómeno es más acusado en los niveles de presión bajos que en los altos.

La siguiente familia de curvas representan el nivel de presión sonora necesario a cualquier frecuencia para producir la misma sonoridad aparente que un tono de 1000Hz.

Fig.2-

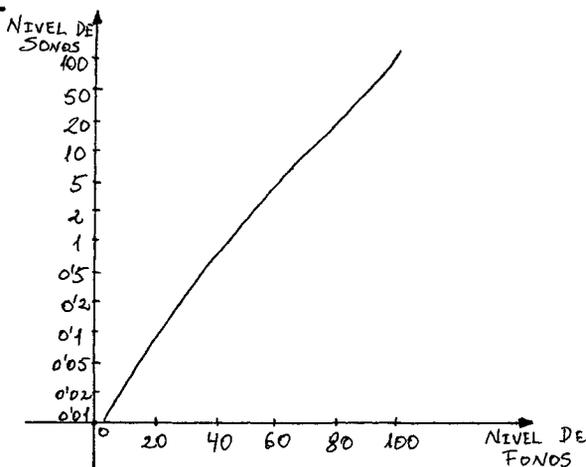


Llamamos "fon" a la unidad de nivel sonoro de un sonido, que es juzgado por un observador medio, numéricamente igual al nivel de intensidad en dB de un tono puro de 1KHz. 1fon=1dB.

Llamamos "son" a la unidad de sonoridad, que se define como el nivel de sonoridad de un tono de 1KHz y 4dB de nivel de intensidad.

Entonces se podrá establecer una escala subjetiva de intensidades o nivel de sonoridad y trazar una curva de correlación entre fonos (unidad fisiológica) y sonos (unidad subjetiva). Se puede entender fácilmente con el ejemplo siguiente junto con dicha curva: Un aumento en el nivel sonoro de 10 fonos es

Fig.3-

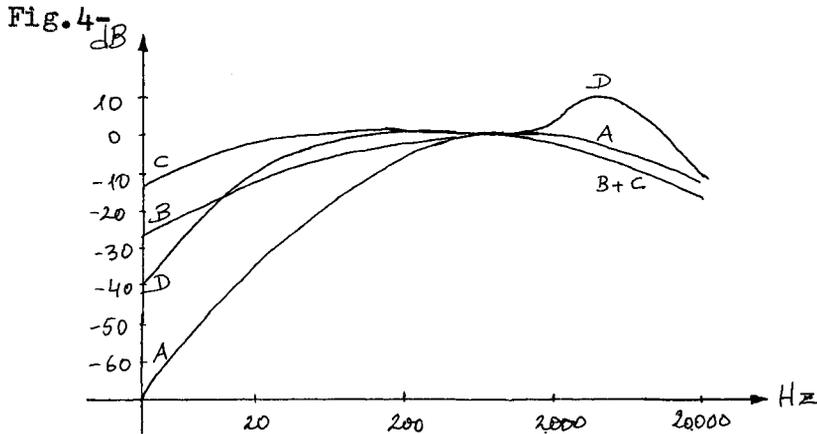


aproximadamente equivalente a doblar el nivel de sonoridad en sonos, y un aumento de medio fono aproximadamente corresponde al cambio mínimo perceptible en nivel sonoro.

Dos frecuencias de estimulación próximas y fuera de la misma banda crítica darían lugar a dos áreas de excitación con una zona de solapado, donde se enmascararían mutuamente. Se define la cantidad de enmascaramiento como el número de dB que se eleva el umbral de audición de un sonido en presencia de otro.

Se ha realizado un circuito electrónico cuya sensibilidad con la frecuencia sigue la misma ley que el oído humano, obteniéndose como resultado los correspondientes a tres características que se han normalizado internacionalmente como sistemas de ponderación "A", "B" y "C". El "A" se aproxima a las curvas de igual sonoridad a los SPL bajos (40 dB); el "B" a los medios (70 dB); el "C" a los altos (100 dB). El "A" es el que se ha impuesto en la práctica. El "B" y "C" no han dado buena correlación con las pruebas subjetivas. Luego se introdujo otra característica especial, la ponderación "D",

para la medida del ruido de los aviones a reacción. Todas ellas tienen una curva con respecto a la frecuencia que las caracteriza, y es:



Cuando se desan más detalles de una señal compleja, la gama de frecuencias de 20Hz a 20KHz se divide en secciones de una octava o de un tercio de octava. Se realiza con filtros electrónicos que rechazan todas las señales cuya frecuencia cae fuera de la banda seleccionada. Este proceso, en el que la señal se estudia con diversas bandas de frecuencia se conoce por "análisis de frecuencia".

Digamos que el aparato que responde al sonido de forma aproximadamente igual al oído humano se llama "sonómetro".

Un factor integrante del ambiente acústico de la vida moderna es el ruido. Incide directamente sobre las personas, a lo largo de la jornada laboral, estando expuesto al campo directo procedente de la fuente sonora ruidosa, e incluso al campo reverberante del recinto de trabajo. Existen varios tipos de ruido:

-Ruido ROCSA. Es el que tiene igual energía por octava dentro del rango de frecuencias audibles.

-Ruido BLANCO. Es el que tiene un espectro de nivel constante en toda la banda de frecuencias audibles; no es necesario que sea al azar o dependiente del tiempo.

-Ruido ALEATORIO (al azar). Es aquel cuya amplitud como función del tiempo, es una curva de distribución gaussiana.

-Ruido IMPULSIVO. Es todo ruido de corta duración.

-Ruido de FONDO. Es el ruido total debido a todas las fuentes de ruido de interferencia en ausencia de señal.

Para efectuar medidas de ruido se utilizan medidores de nivel sonoro (sonómetros), en los que la presión sonora se transforma en tensión eléctrica por medio de un micrófono, y un voltímetro asociado al aparato proporciona la lectura en una escala graduada en dB.

La base de la acústica moderna se remontan a finales del siglo anterior, en el cual W.H. Eccles describió lo que era un microfono, un tubo amplificador de vacío, la producción de ondas sonoras, los filtros y la teoría matemática de los circuitos electrónicos, así como la propagación de las ondas electromagnéticas. Arnold y Crandall, ya en el siglo XX, contribuyeron al descubrimiento del termófono (transductor electroacústico y térmico que sirve como norma para la presión sonora). Wente contribuyó con un micrófono electrostático con una ancha gama de frecuencias, buena estabilidad y la posibilidad de poder calibrarlo fácilmente con un termófono. Posteriormente se descubrió el llamado auricular.

Todo esto contribuyó a la creación de una nueva rama de la acústica llamada electroacústica, la cual tiene por ob-

jeto el estudio de las técnicas de producción, transmisión, registro y reproducción de las ondas sonoras mediante procedimientos eléctricos.

Los elementos que convierten la energía sonora en eléctrica se denominan micrófonos; y los que convierten la energía eléctrica en sonora se llaman altavoces. Ambos reciben el nombre de transductores electroacústicos.

Los micrófonos están caracterizados por su:

-Sensibilidad. Es la relación entre la tensión eléctrica obtenida en bornes del micrófono en circuito abierto y la presión sonora, que actúa sobre la membrana a 1000Hz. El nivel de sensibilidad L_m es la relación entre la sensibilidad M y la sensibilidad de referencia M_r (1V/Pa):

$$L_m = 20 \log \frac{M}{M_r} \text{ (dB)}$$

-Fidelidad. Depende de tres factores como: a) Gama de respuesta. Cuanta más amplia es la característica de respuesta L_m -frecuencia, más fidelidad existe. b) Regulación. La característica de respuesta no debe tener ni picos ni valles fuera del área de tolerancia normalizada. c) Linealidad. La tensión de salida debe ser proporcional a la presión de entrada. Las distorsiones de intermodulación y armónica se deben a la falta de linealidad.

-Directividad. Es la variación del nivel de sensibilidad en función del ángulo formado por el eje de simetría de la membrana y la dirección de propagación de las ondas sonoras.

-Impedancia interna. Depende de la técnica de cons-

trucción del micrófono. Si la impedancia es baja, la línea que une el microfono con el preamplificador puede ser de gran longitud, mientras que una impedancia alta sólo permite una línea corta.

-Ruido de fondo. Es una característica intrínseca a toda fuente de señal. Hay muchos criterios de ponderación del ruido, los cuales desvalorizan las componentes del sonido de muy altas frecuencias y bajas frecuencias. El valor del ruido y la relación señal-ruido están íntimamente relacionados.

Los altavoces deberán caracterizarse por su:

-Curva de respuesta. Puede expresarse en forma de gráfica o en forma de banda pasante. La curva debe parecerse lo más parecida a una línea recta, cubriendo la mayor gama de frecuencias posibles. Son preferibles los "baches" a los "picos".

-Curva de impedancia. Nos informa del valor de la reactancia, expresada en ohmios, que toma la pantalla en función de la frecuencia. Con esto evitaremos hacer trabajar al amplificador con valores de carga inferiores a los que puede aceptar.

-Capacidad de potencia. Es la máxima potencia (expresada en vatios r.m.s. a 8 ohmios por canal) que puede tener el amplificador que utilizemos para alimentarla, sin que exista riesgo de deteriorarla.

-Potencia mínima. Es la potencia mínima necesaria que debe tener el amplificador para poder obtener de la pantalla un nivel confortable de audición.

-Recorte. Ocurre cuando a un amplificador se le exige más potencia que la que realmente puede dar. Se produce cuando se fuerza, a través de sus controles, al amplificador para que este entregue más potencia de la que puede suministrar, o bien picos de señal que superan su capacidad de potencia. Entonces, habrán más probabilidades de dañar un altavoz utilizando un amplificador de 10W (que trabaja en "recorte" durante bastante parte del programa que reproduzca), que si utilizamos uno de 100W, ya que estos no estarán aplicados de forma continua al altavoz y tampoco en toda la gama de frecuencias.

-Rendimiento. Es el tanto por ciento entre la potencia suministrada a la entrada y la potencia acústica que produce. Al ser difícil de determinar, en su lugar suele expresarse la "sensibilidad", que es el nivel de presión sonora que produce esta pantalla cuando se le alimenta con 1W. Este nivel de presión sonora, en campo libre, disminuye 6dB cada vez que se dobla la distancia; por lo que suele determinarse a 1m de distancia.

-Curvas polares. Los sonidos están constituidos por una frecuencia fundamental que en una pantalla es reproducida por el altavoz de graves, y por otras frecuencias más altas llamadas armónicos que son los que determinan el timbre y que son reproducidos por los altavoces de medios y agudos. Las curvas polares permiten conocer la pérdida de nivel que tiene lugar cuando nos apartamos del centro acústico de la pantalla. Al depender la pérdida de la frecuencia necesitare-

como transductores los grabadores fonográficos y las cabezas magnéticas respectivamente. La producción de los discos se hace mediante electrófonos, y la de las cintas magnéticas en magnetófonos, y en las que se utilizan, respectivamente, como elementos transductores, los fonocaptos y las mismas cabezas magnéticas empleadas en el registro.

Otro de los objetivos de la electroacústica es el estudio de los diversos aparatos e instrumentos de música electrónica que permiten la producción de ondas sonoras a partir de oscilaciones eléctricas de baja frecuencia. Las ondas sonoras se extienden uniformemente en todas direcciones, disminuyendo en amplitud al alejarse de la fuente. En el aire, al doblarse la distancia la amplitud se reduce a la mitad, lo cual equivale a una caída de 6dB. Esta teoría es cierta en condiciones donde no hayan obstáculos ni reflectantes; y estas condiciones ideales se conocen con el nombre de "campo libre".

Cuando existe un obstáculo, una parte del sonido se refleja, otra se absorbe por el objeto y el resto se transmite a través de este. La cantidad que se refleja, absorbe o transmite dependerá de las características acústicas del objeto, de su tamaño, y de la longitud de onda de la señal. Para afectar al sonido apreciablemente, el objeto debe ser mayor de una longitud de onda. Por tanto a AF un pequeño objeto perturbará el campo sonoro, y a BF el aislamiento acústico y la absorción se hace muy difícil.

Si se quieren hacer medidas acústicas en un "campo

mos varias curvas tomadas a distintas frecuencias para poder evaluar una pantalla.

-Distorsión. La distorsión "armónica" en los altavoces suele representarse por mediación de curvas separadas por armónicos, ya que es importante conocer de que armónico se trata. En general la distorsión aumenta a medida que disminuye la frecuencia. Con respecto a la distorsión de "diferencia de frecuencia", aplicaremos al altavoz un barrido formado por dos frecuencias de igual nivel y con una separación entre ellas que habrá de indicar. En este tipo de distorsión habrá de indicar el valor más elevado.

La señal eléctrica que se obtiene de un micrófono no tiene la suficiente amplitud para accionar un altavoz, por lo que es necesario intercalar entre ambos un amplificador de audio-frecuencias con el fin de reforzar la señal. En este amplificador se incluyen dispositivos para regular su ganancia (control de volumen) y su respuesta en frecuencia (controles de tonalidad), con lo que se consigue adaptar la audición a los gustos del oyente.

Un conjunto formado por un amplificador, un micrófono y un altavoz sólo tiene aplicación en sonorización; es decir, en la transmisión del sonido, inmediatamente después de producirse a un auditorio muy amplio.

En algunos casos interesa conservar el sonido para poderlo oír en el momento oportuno, y para ello se recurre a las técnicas de registro sonoro. Los procedimientos de registro más empleados son el disco y la cinta magnética, en donde se emplean

libre", hay que ejecutarlas al aire libre y en lo alto de un mástil, o en una cámara anecoica, en la cual el techo, las paredes y el suelo están recubiertos de material muy absorbente que elimina las reflexiones, y que suele ser con algodón (lana) de vidrio (o de poliuretano).

Pero si queremos que todas las superficies se realicen de la misma dureza y capacidad de reflexión, y en las que se evitan además las superficies paralelas, se obtendrá el llamado "campo difuso", porque la energía acústica se distribuye uniformemente por todo el recinto.

Si queremos medir el ruido de una máquina a corta distancia, el NPS puede variar considerablemente con un pequeño cambio de posiciones. Esto sucede a distancias menores de una longitud de onda de la frecuencia más baja emitida por la máquina o del doble de la dimensión mayor de la máquina, según cuál sea el más riguroso. Esta zona se llama el "campo próximo" de la máquina. Pero si se miden alejado de ella se cometen otros errores. Las reflexiones de paredes u objetos pueden ser iguales a la señal directa, e impiden medidas correctas; ésta zona se llama "campo reverberante". Existe el campo libre entre los campos próximo y reverberante, el cual se puede determinar observando que en él, el nivel leído cae 6dB al doblar la distancia a la fuente, y es donde se realizan las medidas. Puede que no exista el campo libre bien sea por las dimensiones del local o bien por ser muy reverberante.

Dentro de la denominación de Medidas Acústicas no sólo

entra la medición de ruidos, sino también caben considerar la medida de respuesta en frecuencia y fase; las de distorsión armónica, de intermodulación y de diferencia de frecuencia; las de rendimiento, de sensibilidad, o la medida del índice de directividad.

Existen unas recomendaciones de normas nacionales e internacionales para medidas acústicas, que señalan técnicas de medida y características de los aparatos a emplear.

"Acústica: Guía para la medida del ruido acústico y sus efectos sobre el hombre", es el título de la norma ISO (International Standards Organization) número 2.204, y define todos los términos básicos de la técnica y los métodos de medida a emplear; y contiene una lista de referencia de otras normas aplicables.

Las IEC-123 e IEC-129 (International Electrotechnical Commission) definen las características de los distintos sonómetros de distintos grados. En Estados Unidos se usa la ANSI (American National Standard).

Para más detalles sobre diversas normas podremos consultar el folleto B&K "Standards, Formulae and Charts".

No obstante en la próxima página se adjuntan las normas más significativas sobre electroacústica. Es una lista de normas que no es completa pero se puede considerar muy significativa.

Fig. 5-
Número

Orga- nismo	Número	Fe- cha	Situa- ción*)	Resumen del Contenido
IEC	94	1968	S	Magnetofones, características de registro y reproducción, velocidad y dimensiones de la cinta, posición de las pistas
IEC	200	1968	S	Altavoces, respuesta en frecuencia, curva polar, frecuencia resonante, capacidad de potencia, condiciones de ensayo, baffle normal
ANSI	S1.5.	1963	S	Altavoz, impedancia, respuesta en frecuencia, curva polar, distorsión, rendimiento, capacidad de potencia, recomendada
BS	1568	1960-66	S	Registros en cinta a 38, 19, 7 1/2 y 3 3/4 pulg./s. Versión original revisada y ampliada en 1966
BS	1927	1953	S	Altavoz, dimensiones físicas, impedancia y frecuencia resonante
BS	1928	1965	S	Discos, características de los equipos de reproducción
BS	1988	1953	S	Tremoleo y lloro: recomendaciones generales para las medidas
BS	2498	1945	S	Altavoces: respuesta en frecuencia, distorsión, rendimiento, curva polar, impedancia respuesta a transitorios
BS	3499	1969	S	Equipos para música de cámara; Magnetofones; Tremoleo y lloro, respuesta en frecuencia, ruido, distorsión
BS	3499	1966	S	Amplificadores para instrumentos musicales: función de los mandos de tono, zumbido ruido
BS	3860	1965	S	Amplificadores: distorsión, potencia nominal, respuesta en frecuencia, intermodulación zumbido y ruido, métodos y presentación de datos
DIN	45 500	XI-1970	D	Equipos reproductores de discos: tremoleo y lloro, tremor, respuesta en frecuencia de captador, distorsión, diafonía
DIN	45 500	V-1971	D	Magnetofones: tremoleo y lloro, respuesta en frecuencia, distorsión, ruido, diafonía amortiguamiento del borrado
DIN	45 500	IV-1966	S	Micrófonos: respuesta en frecuencia, característica polar, distorsión
DIN	45 500	VIII-1971	D	Amplificadores: gama de frecuencia, distorsión, intermodulación, diafonía, ruido, potencia de salida, relación de amortiguamiento
DIN	45 500 hojas 1-3	II-1971	S	Altavoces: respuesta en frecuencia, capacidad de potencia, distorsión, potencia musical
DIN	45 500	V-1971	S	Equipos combinados: respuesta en frecuencia, diafonía, distorsión, intermodulación
DIN	45 507	X-1966	S	Registradores de sonido: medida del tremoleo y del lloro
DIN	45 511 hojas 1-3	V-1971	S	Cintas de 1/4, 1/2 y 1 pulg. Situación de las pistas
DIN	45 512 hojas	II-1969	D	Cintas: determinación de sus propiedades electroacústicas
DIN	45 513 hojas 1-6	1962-71	S	Cintas de prueba para cinta de 1/4 pulg. a 76, 38, 19, 9 1/2 y 4 3/4 cm/s
DIN	45 519 hoja 2	V-1971	D	Cintas: determinación de la copia por contacto y falta de uniformidad del flujo registrado
DIN	45 521	X-1963	S	Magnetofones: determinación de la diafonía
DIN	45 542 a 45	II-1966	S	Discos de prueba: tremoleo y lloro, tremor, diafonía, ángulo de ataque, 33 y 45 rev/min.
DIN	45 573 hoja 1	VII-1962	S	Altavoces: condiciones de prueba y métodos para prueba de tipo
DIN	45 573 hoja 2	I-1969	S	Altavoces: capacidad de potencia y prueba de vida
DIN	45 575	V-1962	S	Altavoces: baffle normal para medidas

*) S — Norma
D — Borrador

III-MEDIDAS ELECTROACUSTICAS

Al medir deberemos usar conjuntamente las valoraciones objetivas y subjetivas para una mejora del producto final. Las medidas objetivas llevarán a mejores productos y las estimaciones subjetivas sugerirán mejores técnicas objetivas.

Las medidas serán importantes, si estas de alguna manera guardan relación, directa o indirectamente, con la calidad subjetiva.

Los tres tipos de medidas más importantes son la de respuesta en frecuencia y en fase, y la distorsión. De hecho, las tres son medidas de distorsión; ya que, por ejemplo, si la respuesta en frecuencia no es plana la amplitud resultará distorsionada, y si la respuesta en fase no es lineal resultará una distorsión en el tiempo. Por tanto podemos decir que todas las medidas buscan detectar las distorsiones de la onda original de uno u otro tipo.

A continuación se detallan las características que deben configurar un informe técnico del equipo electroacústico de alta fidelidad.

1.-RESPUESTA EN FRECUENCIA.-

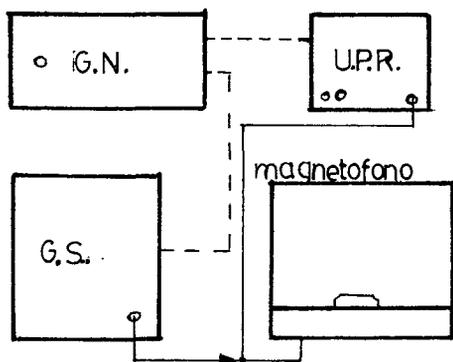
A grandes rasgos existen dos clases de medidas de respuesta en frecuencia, una abarca únicamente la parte eléctrica y la otra la parte acústica, y que vamos a describir a continuación.

drán hacer mediciones de zumbido(50Hz-150Hz),de ruido(a más bajas frecuencias o a frecuencias medias),y de cross-talk(a altas frecuencias).

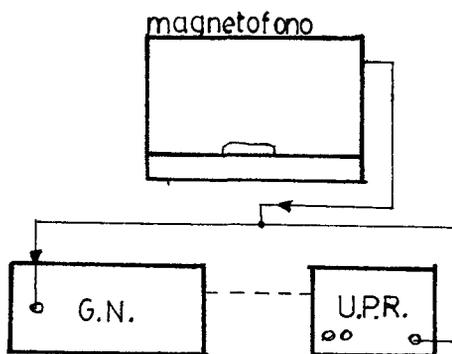
A veces se obtienen curvas de respuesta en frecuencia con un oscilador sencillo RC y un voltímetro;pero este sistema sólo permitirá la realización de cada medida a una frecuencia concreta.

En el caso de que queramos medir la respuesta global del registro y la reproducción de un magnetófono,podemos usar la combinación generador senoidal/grabador de nivel; debemos tener en cuenta que el barrido debe ser lo suficientemente lento para que el retraso entre las cabezas no tenga importancia,o bien se puede corregir la posición del papel,desplazandolo en correspondencia con el retraso,con lo cual se posibilitan los barridos rápidos.Se usa la llamada "Unidad de Prueba de Respuesta" para proporcionar la sincronización automática adecuada del barrido del registrador de nivel:

Ej.3- REGISTRO



REPRODUCCION



Si queremos hallar la curva de respuesta de agujas lectoras de discos(cápsulas fonográficas) deberemos proce-

der mediante un excitador dinámico que haga vibrar la aguja obteniéndose una curva de barrido. El vibrador que se utiliza es el llamado "acelerómetro" cuya frecuencia de resonancia es superior a la de la aguja de ensayo, por lo que será muy alta.

12. -Medida de la Respuesta acústica en frecuencia.

Si queremos medir altavoces u otros transductores acústicos lo haremos o bien en un espacio abierto o en una cámara anecoica, esto equivale a decir que se puede medir en un campo de presión o en un campo libre respectivamente.

La respuesta en campo de presión se toma en una cavidad cerrada donde se puede suponer que no hay ondas estacionarias en el campo de frecuencias de interés. La respuesta en campo de presión se toma en una cámara anecoica.

Existe una técnica llamada de "compuerta", y que hacen posible reproducir las condiciones anecoicas en locales ordinarios, poblados de reflexiones.

-Medida de respuesta acústica en frecuencia en un Campo Libre de: (12.1.).

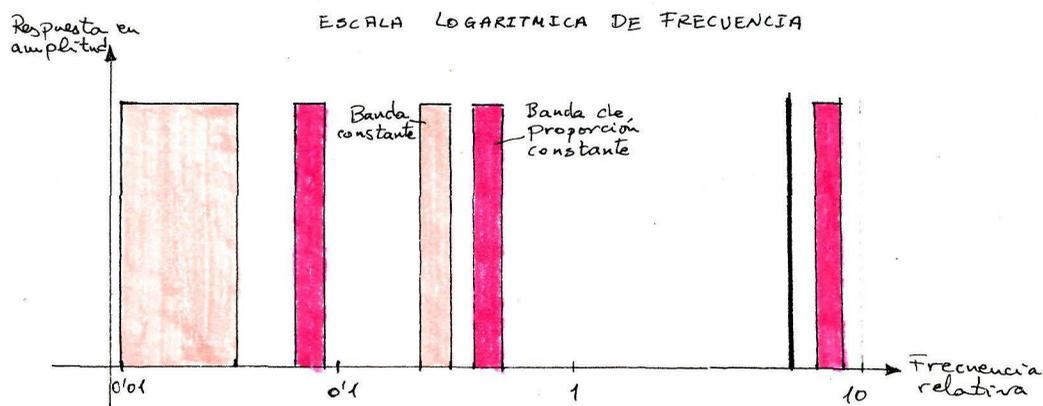
12.1. -ALTAVOCES.

La curva de respuesta informará del comportamiento del altavoz en toda la gama de frecuencias, en forma de gráfica, o puede expresarse en forma de banda pasante especificando la variación en decibelios que existe.

La medida que será registrada en forma de gráfica se realizará en una cámara anecoica, excitando a la pantalla con una señal senoidal y recogiendo la señal con un micró-

tante a todas las frecuencias.

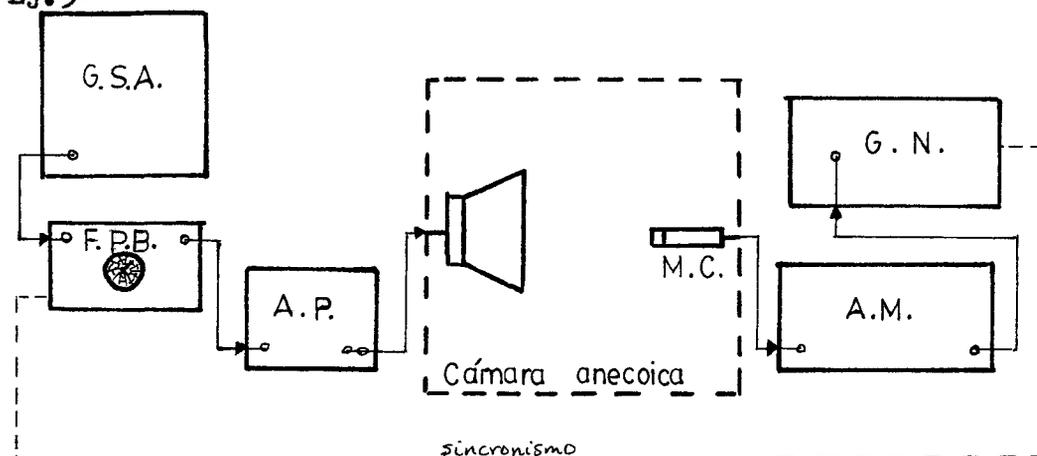
Estos filtros de banda constante y de banda de proporción constante serán: Fig.6-



Para generar estos dos tipos de ruido utilizaremos un generador senoidal de azar, que proporcione ruidos de banda constante con bandas seleccionables desde 3'16 Hz a 1000 Hz; y dispone también de ruido rosa, que pasará por un filtro exterior de tercio de octava. El paso de una frecuencia central a la siguiente en el juego de filtros está sincronizado de forma automática con la marcha del registrador de nivel.

Si se desea ruido de proporción constante, podremos utilizar el generador de ruido.

Ej. 5-

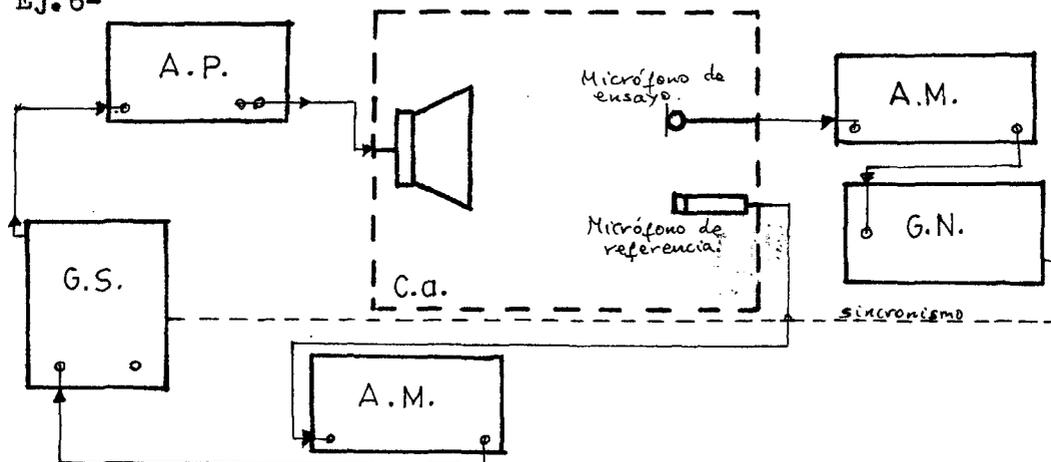


1.2.1.2. -MICROFONO.

La medida de la función de transferencia en los micrófonos también se plantea desde dos ángulos distintos, medidos en campo libre y en campo de presión. Lo que vamos a estudiar ahora será la realizada en campo libre, o sea en una cámara anecoica. A diferencia de la medida de los altavoces, para la medida de respuesta del micrófono deberemos crear un campo sonoro con una presión sonora constante, independientemente de la frecuencia. Necesitaremos para ello, un altavoz con una respuesta plana en frecuencia. Ello lo lograremos mediante un micrófono de referencia o llamado también micrófono patrón de control. El micrófono de control se coloca próximo al que está en ensayo. La salida de éste se amplifica y se lleva al órgano de mando o compresor del generador senoidal. El nivel de salida se ajusta entonces de forma automática y se tiene una respuesta en frecuencia plana en el punto en el que se encuentra el micrófono de referencia. Hay que tener en cuenta que si los micrófonos se colocan muy próximos, las reflexiones del ensayo interferirán con el

campo sonoro en el de referencia, y al inversa. La salida del micrófono de ensayo se amplifica y es llevado al registrador de nivel.

Ej. 6-



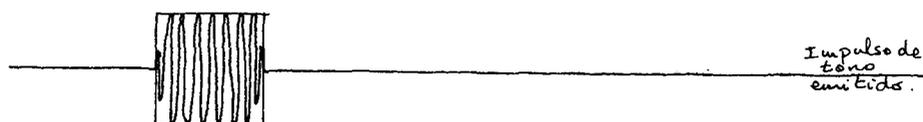
Se dispone de sistemas más sencillos de lazo de realimentación para medida sobre micrófonos. Este procedimiento incluye un barrido de salvas de tonos cuasicontínuos barriendo de forma logarítmica y por saltos discretos (dividiendo la banda de paso en 256 puntos). El micrófono patrón recoge durante un primer barrido los niveles de presión sonora para los 256 puntos espectrales, en base a un nivel medio preestablecido. El equipo, en un segundo barrido, entrega al altavoz niveles eléctricos corregidos tales que el nivel de presión sonora será constante en el lugar del micrófono de control. Y el registro de nivel de presión sonora procedente del micrófono en prueba, para este segundo barrido, será la curva de respuesta casi continua del micrófono en prueba.

Si se quiere una mayor información podremos consultar "Estación de pruebas de audio 2116 Brüel & Kjaer, Datos de Producto".

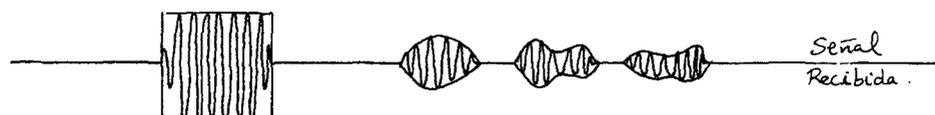
-Medida de respuesta acústica en frecuencia de campo libre en Locales Ordinarios usando Técnicas de Compuerta:(1.22.)

Cuando se pretenden medidas de transductores electroacústicos sin utilizar cámaras anecoicas se pueden utilizar con éxito notable el sistema llamado de compuerta.

Este procedimiento actúa enviando un impulso de tono al altavoz colocado en un local ordinario, que es de la forma: Fig.7-



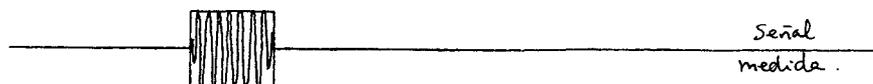
La señal recibida por el micrófono de medida contiene no sólo la respuesta del altavoz al impulso original, sino también las diversas reflexiones de paredes, suelo, techo, etc. La forma del impulso original se distorsiona. La primera parte del impulso contiene el resalto, y la última el aplanamiento producidos por el altavoz; pero en alguna parte del centro existe una zona de régimen permanente cuya amplitud es igual a la respuesta en campo libre. Por ejemplo:



Esta zona de régimen permanente se selecciona mediante un impulso compuerta de medida, con la duración y retraso adecuado:



Entonces, se podrá medir el nivel de la señal delimitada por la compuerta:

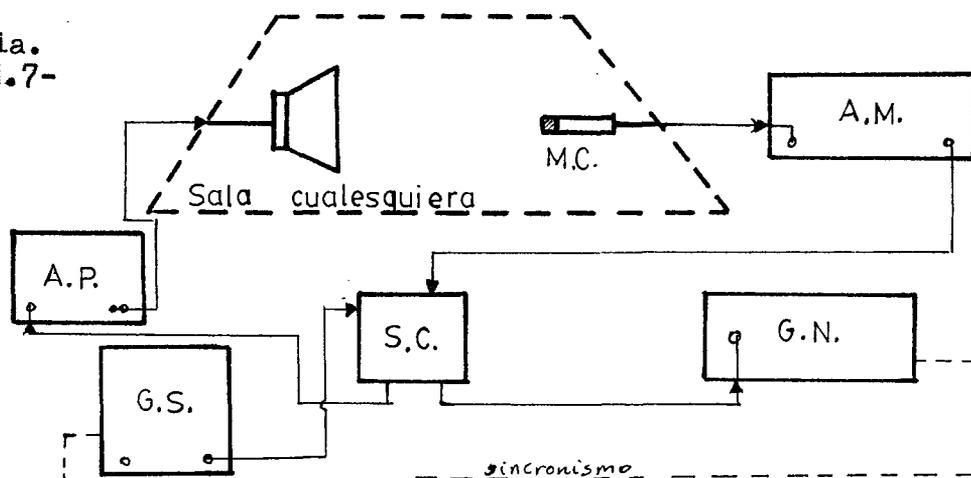


Digamos que la señal recibida se puede graduar en el tiempo con la compuerta de medida, y por lo que se podrán examinar todas sus zonas por separado, pudiendo estudiar por ejemplo con más detalle las reflexiones anticipadas que puedan haber.

El dispositivo constará de un generador senoidal, cuya salida se lleva por la sección de transmisión del sistema de compuerta, y se transforma en un impulso de tono de duración ajustable (0'3msg-1sg) que a su vez, se envía al altavoz pasando por el amplificador de potencia.

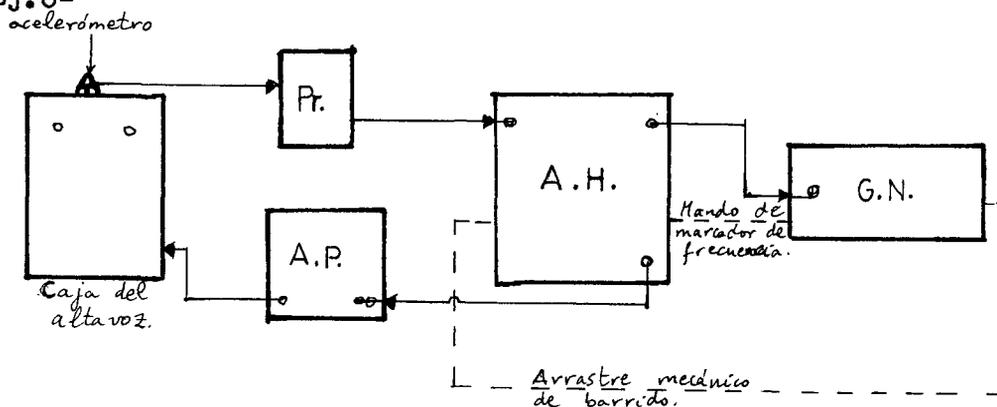
La señal procedente del amplificador de medida pasa por la sección de recepción del sistema de compuerta y se delimita por la compuerta de medida, cuya duración y retraso son también ajustables en una extensa gama. Un detector de pico mide la amplitud de la señal deseada y aplica una tensión c.c. proporcional a ese valor, al registrador de nivel para registro automático de la respuesta en frecuencia.

Ej.7-



En el caso de que queramos medir las reflexiones anticipadas (sonido de la caja) como función de transferencia, haremos que la compuerta de medida del sistema se ajuste exactamente al final del impulso de tono. Una posible causa de estas reflexiones prematuras son las resonancias mecánicas de la caja acústica; las cuales se pueden medir colocando un acelerómetro sobre la caja, haciendo que el generador barra toda su gama de trabajo y trazando los correspondientes niveles con ayuda del registrador.

Ej. 8-



1.3.-Medida de respuesta en frecuencia de Giradiscos y/o Captadores de ensayo.

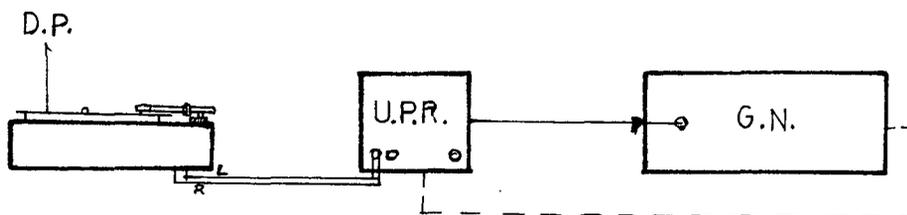
Existen unos discos de prueba, que tienen grabados unas características que se detallan en la Fig. 8; éstos sirven para facilitar medidas de respuesta en frecuencia entre otras medidas. Los tres discos se han grabado siguiendo la recomendación IEC98. Para realizar esta medida es imprescindible la Unidad de Prueba de Respuesta, que sincroniza los discos de prueba con el registrador de nivel para el trazado automático de la respuesta en frecuencia.

Fig. 8

	Banda num	Tipo de Modulación	Nivel	Precisión	Frecuencia	Duración	Imp. de Sin. rmo	Observaciones	Aplicaciones
OR 2009	1 & 5	Izqda	-10 dB	± 1 dB	20 Hz a 20 kHz barrido log.	16,7 s/dec. total 50 s	Sí		Medidas de respuesta en frecuencia, diafonía y balance
	2 & 6	Dcha							
	3 & 7	I + D							
	4 & 8	I - D							
OR 2010	1	Izqda	-10 dB	± 1 dB	20 Hz a 20 kHz barrido log	5 s/dec total 16,7 s	Sí		Medidas de respuesta en frecuencia y diafonía
	2	Dcha							
	3	I + D	+ 8 dB	± 0,5 dB	1 kHz	15 s cada	No	Distorsión < 4%	Determinación de la máxima adaptabilidad a pista
	4	I + D	+ 6 dB					Distorsión < 3%	
	5	I + D	+ 4 dB					Distorsión < 1%	
	6	I + D	+ 2 dB					Distorsión < 1%	
	7	I + D	0 dB					Distorsión < 1%	
	8	I + D	-12 dB	± 1 dB	3150 Hz	60 s	No	Llora máx < ± 0,06% (con ponderación pico)	Medidas de tremoleo en giradiscos
	9	Izqda	0 dB	± 0,5 dB	1 kHz	3 s	No		Verificación rápida de polaridad
		Dcha				3 s			
		I + D				1 s			
	10	I - R				1 s			
		I + D							
		Izqda	-20 dB						
	11	Dcha	-10 dB	± 2 dB	30 kHz	5 s cada	No	Diafonía > 20 dB	Medidas de diafonía a 30 kHz en transductores de 4 canales
Dcha		-20 dB							
Izqda		-10 dB							
12	I + D	-11,3 dB	± 1 dB	315 Hz	15 s	No	Tremor según método IEC	Medidas de tremor en giradiscos	
	Vacío				60 s	No	Ponderación A < 50 dB Ponderación B < 65 dB		
13	Izqda	-20 dB	± 1 dB	1 kHz	3 s	No	Diafonía > 20 dB > 30 dB at 1 kHz	Medidas de diafonía que sólo exigen un voltímetro de c. a.	
	Dcha	0 dB		1 kHz	2 s				
	Dcha	0 dB		400 Hz a 10 kHz barrido log	5 s/dec total 7 s				
	Dcha	-20 dB		1 kHz	3 s				
	Izqda	0 dB		1 kHz	2 s				
14	Izqda	0 dB		400 Hz a 10 kHz barrido log.	5 s/dec total 7 s				
	Izqda	-10 dB	± 1 dB	20 Hz a 20 kHz barrido log.	5 s/dec total 15 s	Sí	Para precisión de barrido y diafonía, véase fig.	Medidas de respuesta y diafonía a pequeñas longitudes de onda mecánicas	
15	Dcha	-10 dB							
OR 2011A	I + D	-20 dB	± 2 dB	5 Hz a 20 Hz barrido log.	50 s/dec total 30 s	Sí	Velocidad constante	Estudios de resonancias del brazo	
OR 2011B	1	Izqda	-22 dB	± 1 dB	1 kHz, Ruido 1/3 oct.	60 s	No	Al principio de cada banda, una voz indica la frecuencia central	Calibración
	2	Izqda			20 Hz a 20 kHz Ruido 1/3 oct.	500 s	Sí		Medida manual de respuesta en sala de escucha
	3	Dcha			1 kHz, Ruido 1/3 oct.	60 s	No		Calibración
	4	Dcha			20 Hz a 20 kHz, Ruido 1/3 oct.	500 s	Sí	Al principio de cada banda, una voz indica la frecuencia central	Medida manual de respuesta en sala de escucha
	1	I + D			1 kHz, Ruido 1/3 oct.	60 s	No		Calibración
	2	I + D			20 Hz a 20 kHz, Ruido 1/3 oct.	500 s	Sí	Al principio de cada banda, una voz indica la frecuencia central	Medida manual de respuesta en sala de escucha
	3	I + D			20 Hz a 20 kHz, Ruido 1/3 oct.	150 s	Sí	Sin comentarios vocales	Medida automática de respuesta en sala de escucha
4	I + D	-24 dB	± 1 dB	20 Hz a 20 kHz, Ruido de banda ancha	30 s cada	No	Fase correcta Fase inkzpkJCón	Comprobación de fase de todo el sistema	
	I - D								
5	I + D	-22 dB	± 1 dB	20 Hz a 1 kHz, Ruido	15 s cada	No		Comprobación singular de fase	
	I + D			1 kHz a 4 kHz, Ruido					
6	I + D	-22 dB	± 1 dB	4 kHz a 20 kHz, Ruido					
	I + D	-10 dB	± 1 dB	20 Hz a 1 kHz, Sinusoidal	85 s	Sí		Localización de partes resonantes	
7	I + D	-24 dB	± 1 dB	20 Hz a 20 kHz, Ruido de banda ancha	240 s	No		Distribución en la sala de señal de amplia gama	

*1) Respecto a 10 cm/s. eficaz. Lateral (I + D) a 1000 Hz

Ej.9-

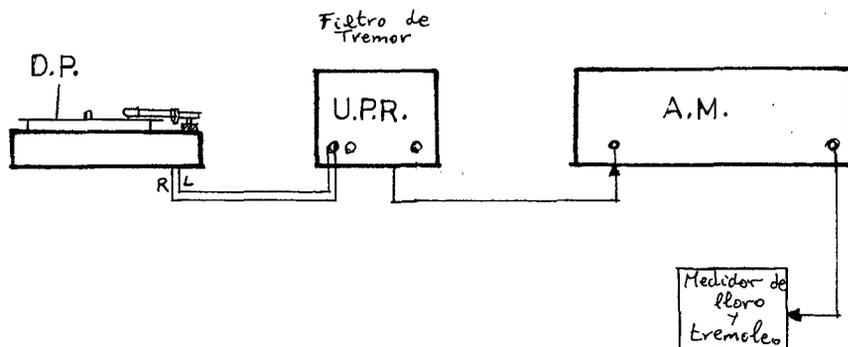


Con estos discos se pueden medir el lloro, tremoleo, y el ruido de vibraciones (tremor), producidos por el giradiscos.

El lloro y tremoleo son las pequeñas variaciones de velocidad, produciéndose el primero a frecuencias inferiores a 10Hz, y el segundo a frecuencias superiores a estos 10Hz.

Si queremos medir el tremor deberemos utilizar el disco de prueba QR2010, pista 11, que contiene un tono de referencia de 315Hz durante 15sg seguido de un surco silencioso de 60sg. Podemos decir que la medida del tremor es una medida de la relación señal-ruido usando filtros A o B; estos vienen incorporados en la Unidad de Prueba de Respuesta.

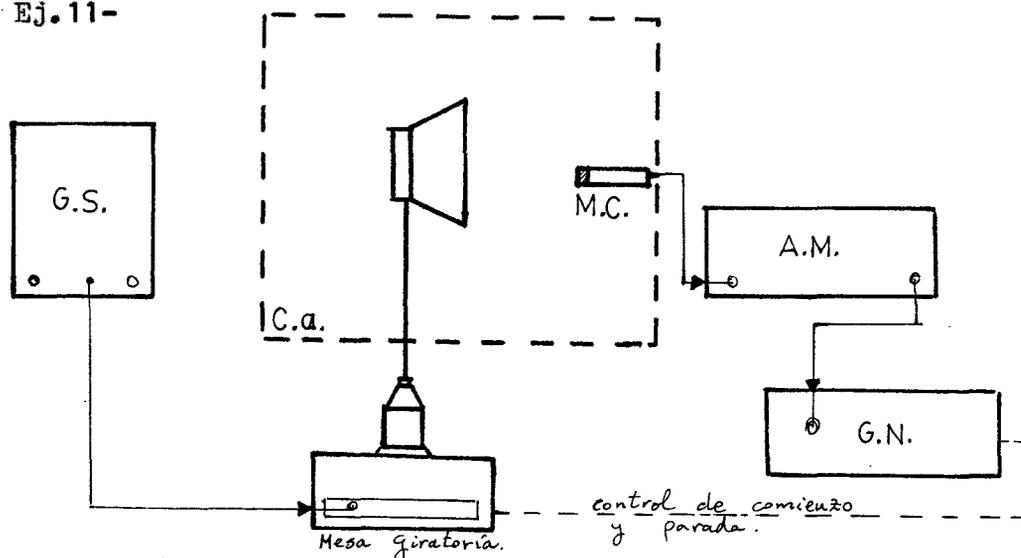
Ej.10-



1.4. -Medida de las Características Direccionales.

Esta medida se obtiene montando el altavoz sobre una plataforma giratoria que gira a la misma velocidad que el papel de registro. Al altavoz bajo ensayo se le conecta una señal de la frecuencia a la que se quiera medir su característica direccional y un micrófono colocado en frente va tomando el nivel que corresponde para cada posición de la pantalla.

Ej. 11-

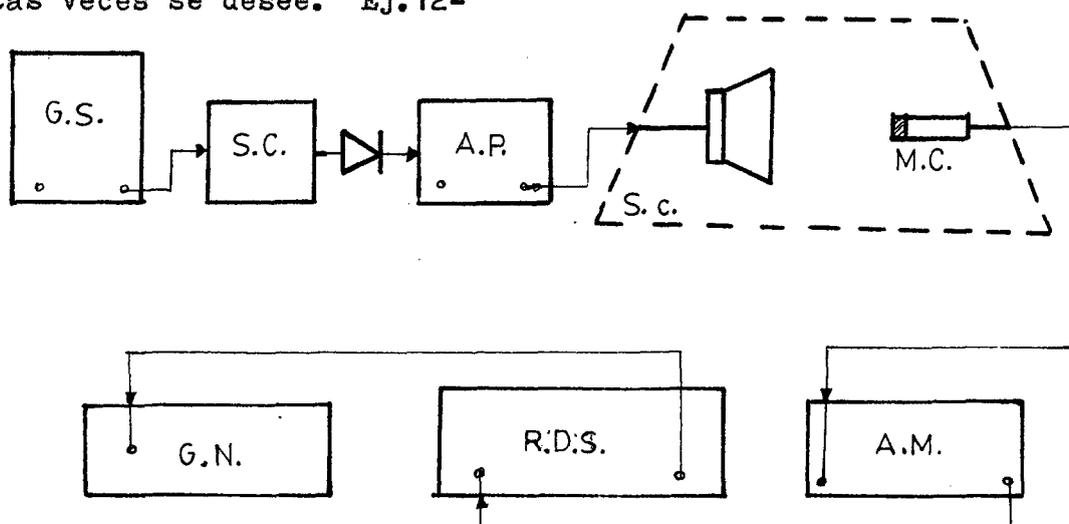


Si no se desean las características direccionales totales, el sistema se puede disponer para que sólo barra un ángulo determinado, como 60° por ejemplo, y seguirá manteniendo la sincronización del registrador de nivel.

1.5. -Medida de la Respuesta a los Impulsos.

Es conveniente conocer el comportamiento del altavoz en régimen de impulsos. Se aplica al altavoz un impulso singular senoidal al cuadrado (contiene todo el espectro de frecuencias). El sistema de compuerta con una banda estrecha de

impulso producirá un pulso. Usando un diodo colocado en serie con la salida se ha aproximado a una función de $\text{sen}^2 n$. Al ser el ancho de banda de explosión tan corto como 0'1msg implicará impulsos de un contenido de frecuencias de hasta 10KHz. Para este estudio de las respuestas a los impulsos utilizaremos el llamado Registrador Digital de Sucesos, ya que su memoria digital aloja hasta 1000muestras de 8 bits cada uno. Toda señal alojada en esta memoria se puede reproducir cuantas veces se desee. Ej.12-



2.-.RESPUESTA EN FASE Y LA TRANSITORIA RELACIONADA CON ELLA.-

La respuesta en fase junto con la respuesta en amplitud dan la completa función de transferencia que describen el estado estable y la respuesta transitoria del sistema.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Respuesta en fase: } \Phi(s) \\ \text{Respuesta en amplitud: } A(s) \end{array} \right\} H(s) = A(s) \cdot e^{j\Phi(s)}$$

Es conocido del análisis de Fourier que una transitoria puede ser vista como una combinación de un infinito nú-

mero de ondas senoidales. Lo cual es difícil de representarlo gráficamente; de ahí que se represente por la combinación de onda senoidal fundamental y un número de componentes de armónicos.

Si por ejemplo, el fundamental, el 3° y el 5° armónico son sólo combinados en fase, la suma será aproximadamente similar a la señal senoidal original. Pero si por ejemplo, todos los componentes son desviados 90° en un sistema, la suma resultante estará desviada en tiempo 90°, y además con una forma de onda diferente de la original. Por tanto diremos que tendrá el sistema una respuesta transitoria pobre. De ahí la importancia de mediciones de fase que hacen posible leer las desviaciones de fase relativa entre diferentes frecuencias y también entre el fundamental y sus armónicos. Entonces cuanto más lineal sea la respuesta en fase, tanto mejor es la reproducción de transitorios, lo cual se aprecia principalmente en los transitorios musicales.

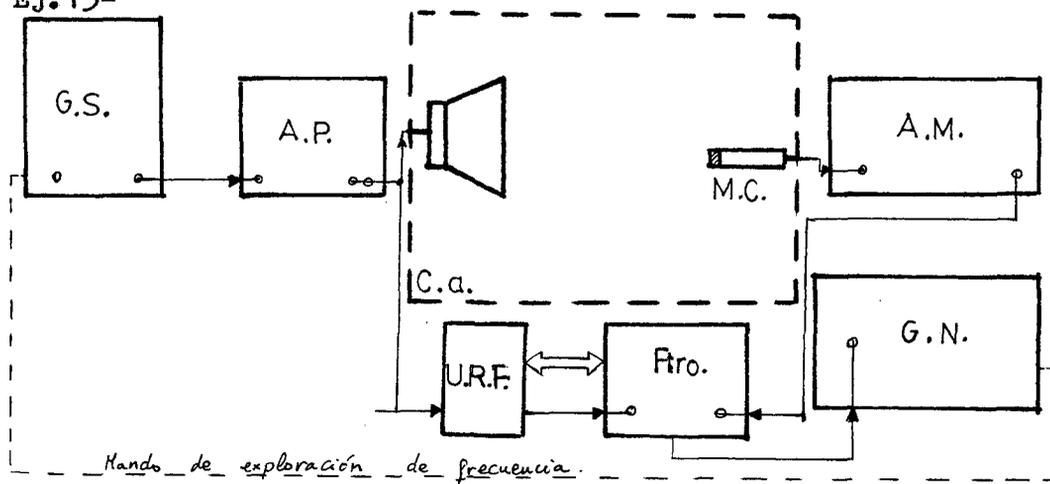
Para la medida de la respuesta en fase de un altavoz así como para medir su respuesta en amplitud, utilizaremos un Medidor de Fase y una Unidad de Retraso de Fase.

El clásico sistema para medir la respuesta en amplitud ya la hemos estudiado anteriormente en el ejemplo número 4.

Y el sistema de medida de respuesta en fase es la siguiente: Una señal senoidal es aplicada al altavoz y la señal reproducida es medida con un micrófono de condensador

y un amplificador de medida.

Ej. 13-



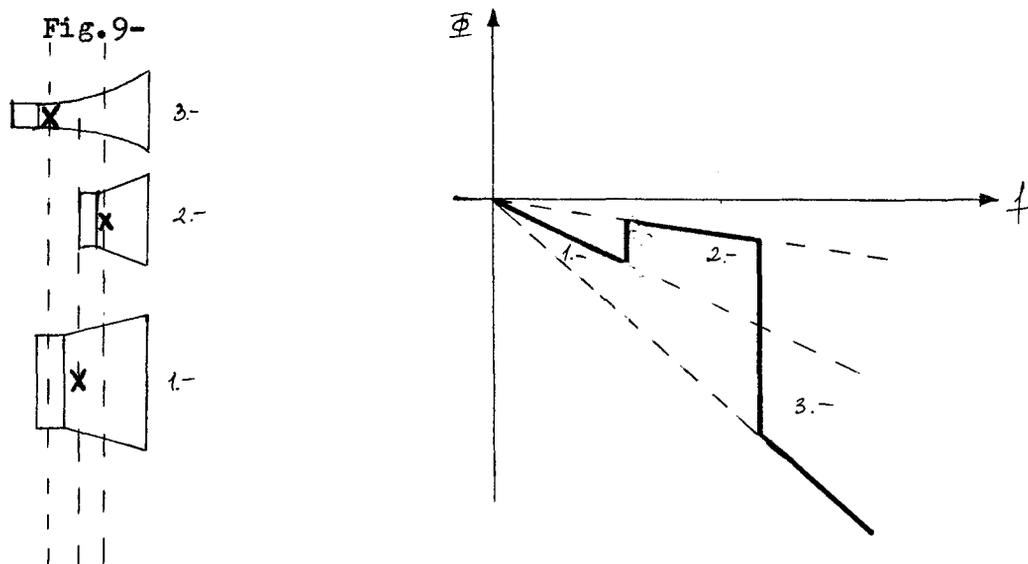
Existirá un retraso de tiempo desde cuando la señal deja al altavoz y es recogida por el micrófono, ya que debe existir aproximadamente una distancia de 1m entre ellos. Este retraso de tiempo corresponde con una desviación de fase, de ahí que no se pueda medir directamente. El retraso de tiempo causará a su vez un incremento de desviación de fase con incremento de frecuencia. A altas frecuencias por ejemplo, la distancia de separación entre micrófonos y altavoz causará una desviación de fase de varias veces 360° .

Este problema se superará al situar una Unidad de Retraso de Fase en el canal de referencia. Esta es independiente de la frecuencia y retrasará la señal desde el amplificador de potencia al Medidor de Fase por la cantidad de tiempo, que lleva la señal para viajar del altavoz al micrófono. La Unidad de Retraso es calibrada en metros y puede estar ajustada de acuerdo a la distancia de medida seleccionada entre altavoz y micrófono. Y las fijaciones son: 0'5; 1;

1'5; 2'0; 2'5; y 3'0 metros; y cada uno puede ser desviado o variado hasta un 10%.

El Medidor de Fase muestra diferencia de fase entre la señal retrasada y la señal del micrófono. El resultado será leído en un display de 3 dígitos en grados o en radianes en el rango de 0° a 360° o $\pm 180^\circ$. La salida del medidor de fase es dirigida al grabador de nivel, así que mientras el generador está barriendo, la respuesta del altavoz automáticamente será dibujada en este grabador de nivel.

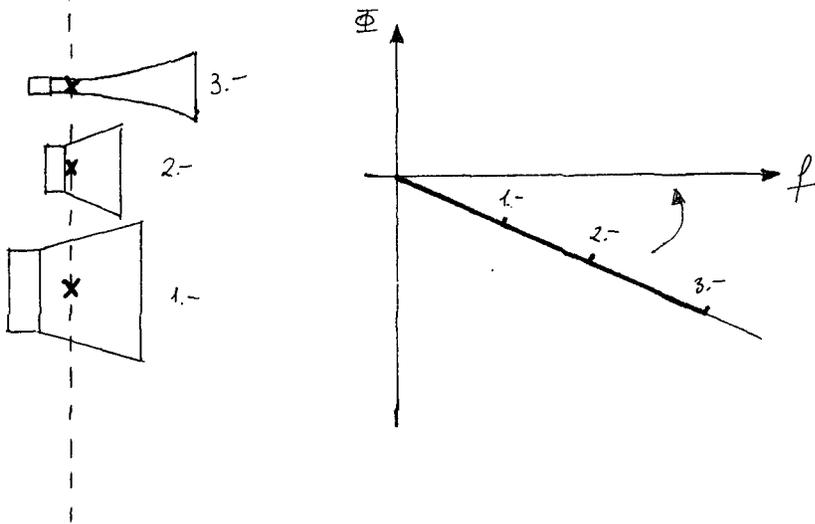
Supongamos un sistema de tres altavoces en el que se supone que cada uno de los tres conos tiene respuesta lineal en fase. Estos conos tendrán un centro acústico, y no dependerán de la frecuencia. La curva de respuesta en fase resultante indicará el desplazamiento relativo de los tres conos.



Con ésta curva podremos calcular cómo situarlos para obtener una respuesta plana en fase. Y mejoraremos el sistema si alineamos los centros acústicos de los altavoces, ya que los componentes de la señal llegarán ahora al oyente

con la adecuada relación en el tiempo.

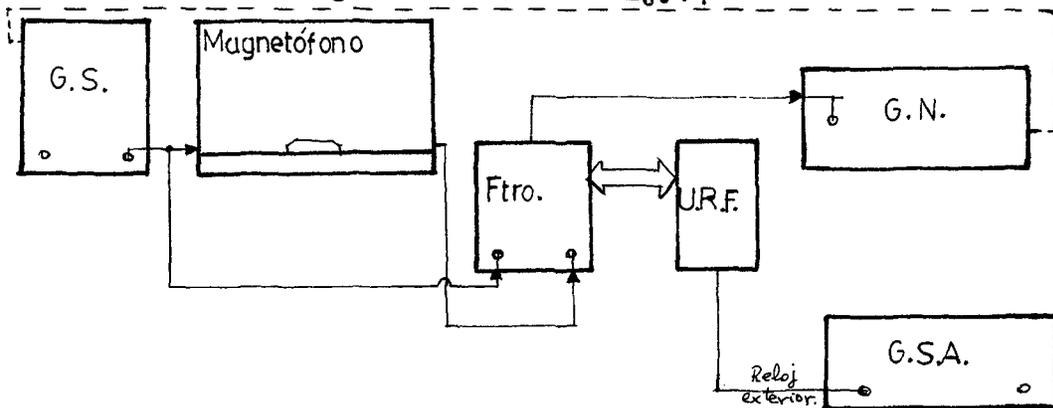
Fig. 10-



La respuesta en fase parece especialmente significativa respecto a la calidad audible a altas frecuencias, y la respuesta a tercios de octava lo parece más a bajas y medias frecuencias.

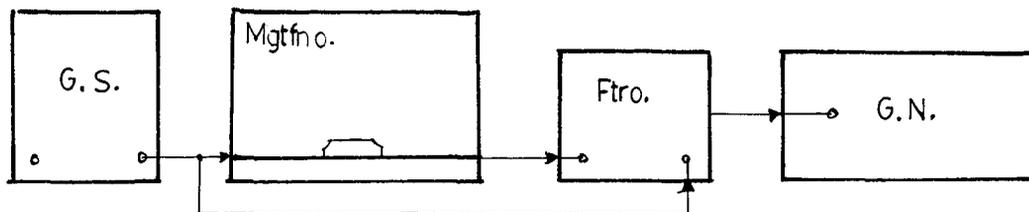
La respuesta en fase a las frecuencias bajas (cerca de la de corte del altavoz) revelará también su respuesta a los transitorios en las bajas frecuencias; que se manifestará de forma que si la respuesta es buena habrá un sonido claro, y si es mala habrán unos bajos horribles.

Para las medidas de respuesta en fase de magnetófonos utilizaremos el siguiente sistema: Ej. 14-



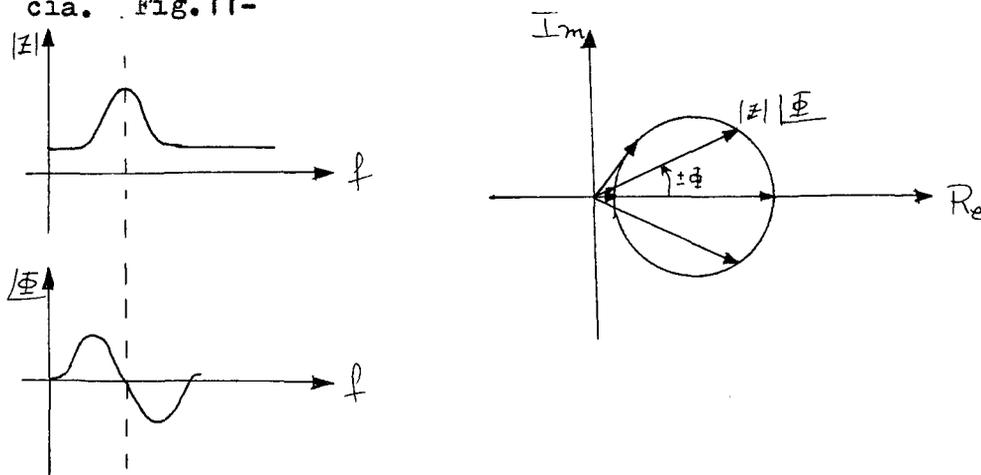
produzca una deflexión de la pluma hacia la mitad del papel. Cuanto mayor sea la frecuencia de prueba tanto mayor será la sensibilidad disponible para el ensayo de la estabilidad mecánica.

Ej.16-



3.-.MEDIDA DE LA IMPEDANCIA COMPLEJA.-

La impedancia compleja la podemos definir como el vector Z desde el origen $(0,0)$ a un punto de la circunferencia. Fig.11-



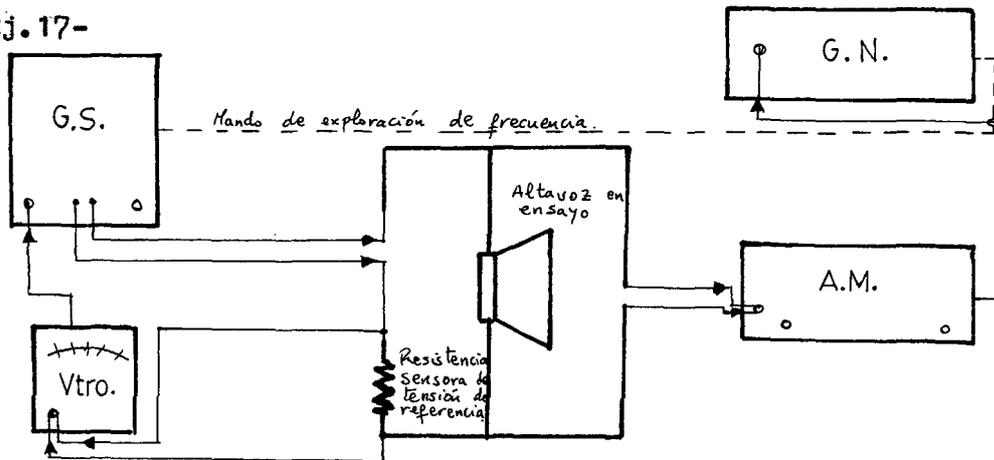
El punto más próximo al origen corresponde a una frecuencia de OHz (c.c.), a la cual la amplitud es mínima y la fase nula. Tanto la amplitud y la fase aumentan hasta que el vector es tangente a la circunferencia.

La impedancia aumenta, pasando el punto de tangencia, hasta alcanzar la resonancia, en donde la impedancia es puramente resistiva (al ser cero su ángulo de fase). Por encima de la resonancia Z disminuye y el vector pasa por el fondo de la circunferencia hasta alcanzar el punto inmediato al valor c.c..

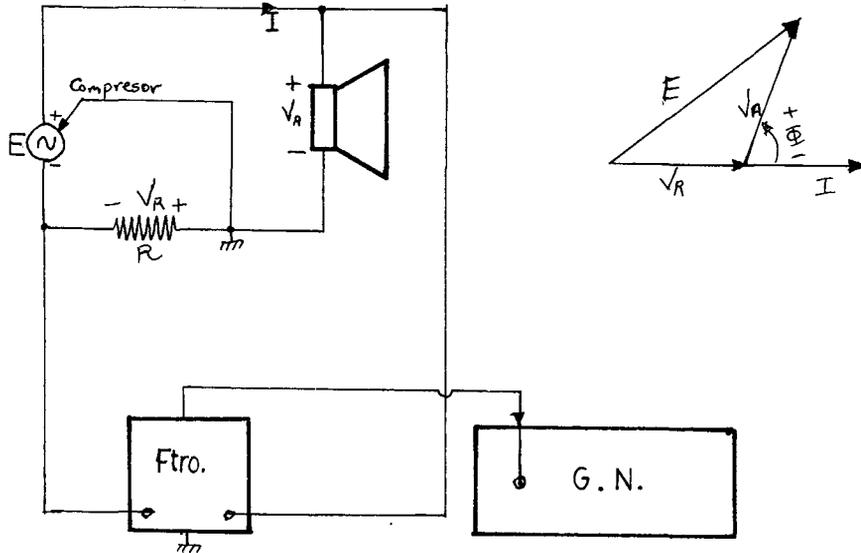
La impedancia de un altavoz para ser medida requiere de un generador que sea fuente de corriente constante. Esto se obtiene del oscilador por batido de frecuencia midiendo en bornes de una resistencia colocada en serie con el altavoz, y realimentandola a la entrada de compresión del oscilador. La tensión en bornes de la resistencia será mantenida constante, suministrando una corriente constante al altavoz; y por tanto la tensión en bornes del altavoz será proporcional a la impedancia.

La representación de este sistema será de la forma:

Ej. 17-



Pero como la impedancia es una magnitud compleja, habrán que medir su ángulo de fase, y se realizará de la siguiente forma: Ej.18-



4.-.DISTORSION DE INTERMODULACION, DE DIFERENCIA DE FRECUENCIA, Y ARMONICA.-

Por distorsión entendemos toda señal de salida que no corresponde con la señal de entrada. Por lo tanto, existirán muchos distintos tipos de distorsión como pueden ser entre otras, distorsión armónica, de cruce, de intermodulación, de rastreo, de diferencia de frecuencia, de traslación, de trazado, etc.

Nosotros nos vamos a encargar de las distorsiones que tienen significados audibles; entonces nos encargaremos de las medidas de la distorsión armónica total, la singular de los armónicos, la de distorsión de intermodulación y por diferencia de frecuencia, y la de la distorsión de intermodulación de transitorios.

Como ya sabemos, en sistemas no lineales, a una entrada

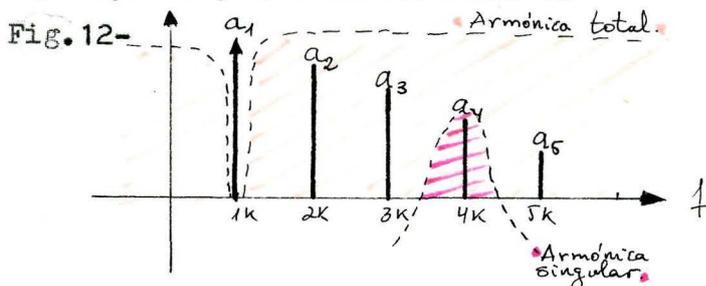
senoidal pura responden en su salida, dando la señal de entrada, con su ganancia correspondiente, y otras señales nuevas que aparecen y que las ha generado el sistema. Estas alinealidades se producen por múltiples causas, y frecuentemente están presentes en transductores.

4.1.- Cuando a un equipo electroacústico se le inyecta una señal senoidal, la salida del sistema, cuando este no es lineal, dejará de ser senoidal pero será una función periódica, por lo que puede aplicarse la teoría del análisis de Fourier, en el sentido de las series de Fourier, la señal distorsionada será descomponible en la señal fundamental y sus armónicos correspondientes. Es la conocida por DISTORSION ARMONICA.

4.1.1.- La DISTORSION ARMONICA TOTAL correspondiente a una señal es la raíz cuadrada del cociente de la suma de los cuadrados de los componentes de la distorsión por la suma de los cuadrados de todos los componentes de la señal.

$$D = \sqrt{\frac{a_2^2 + a_3^2 + \dots}{a_1^2 + a_2^2 + \dots}} \cdot 100\% \quad ; \quad \text{donde "a}_n\text{" es la amplitud del enésimo armónico.}$$

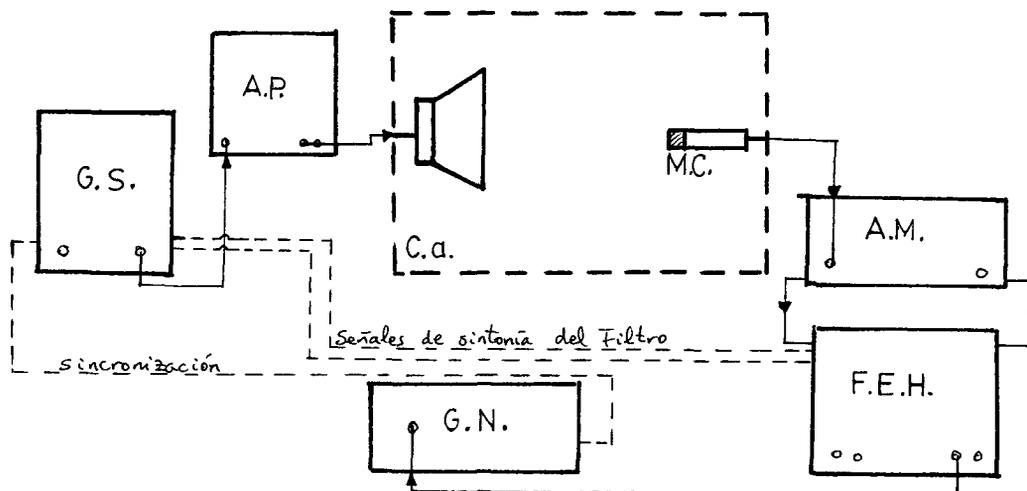
En la siguiente figura representaremos la distorsión armónica donde se aprecia que se aplica al sistema un tono de 1KHz que produce después componentes de distorsión a 2KHz, a 3KHz, 4KHz y así sucesivamente.



Esta medida se hace fácilmente mediante un filtro de rechazo de banda que elimina la principal y deja pasar todos los armónicos unidos a ruido y zumbidos. La salida del filtro de rechazo constituye el nivel de distorsión que, cuando se recoge en papel del Registrador de Nivel, vendrá en dB por debajo del nivel de referencia ($-20\text{dB}=10\%$; $-40\text{dB}=1\%$; $-60\text{dB}=0.1\%$; etc.).

Esta medida para cada una de las frecuencias se puede hacer mediante un Filtro Esclavo Heterodino, el cual se conecta a las señales de sintonía de alta frecuencia proporcionada por un generador senoidal con lo que se asegura la sincronización automática.

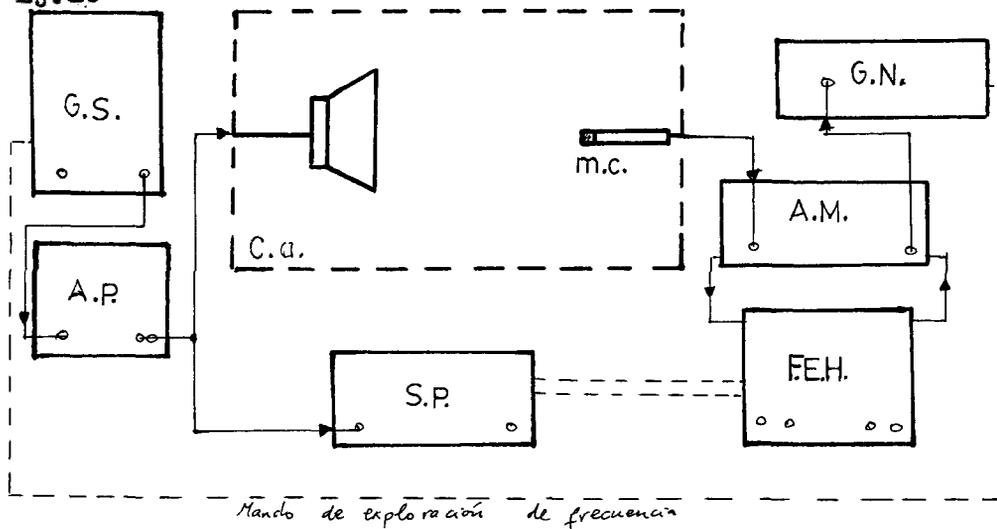
Ej.19-



4.1.2.- El medir la DISTORSION ARMONICA SINGULAR TOTAL implicará medir por separado la amplitud de cada uno de los armónicos, como vemos en la figura. Esto se logra incorporando un Sintonizador de Percusión, el cual se engancha a la salida senoidal de baja frecuencia del generador, y produce las señales necesarias para sintonizar el Filtro Esclavo.

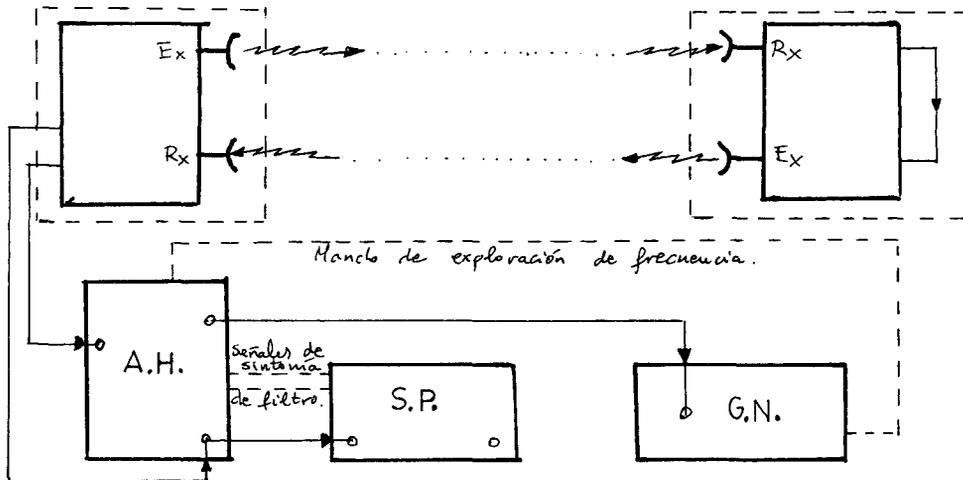
vo Heterodino al armónico de interés. Este armónico se puede elegir con un simple selector del sintonizador; e incluso se pueden medir subarmónicos ya que este sintonizador tiene una resolución por saltos desde el armónico 0'1 al 99'9. Este sistema tiene una gama dinámica de 70dB (0'03% de distorsión) en el modo de banda de paso, pero queda limitado a 55dB (0'2% de distorsión) en el de rechazo.

Ej. 20-



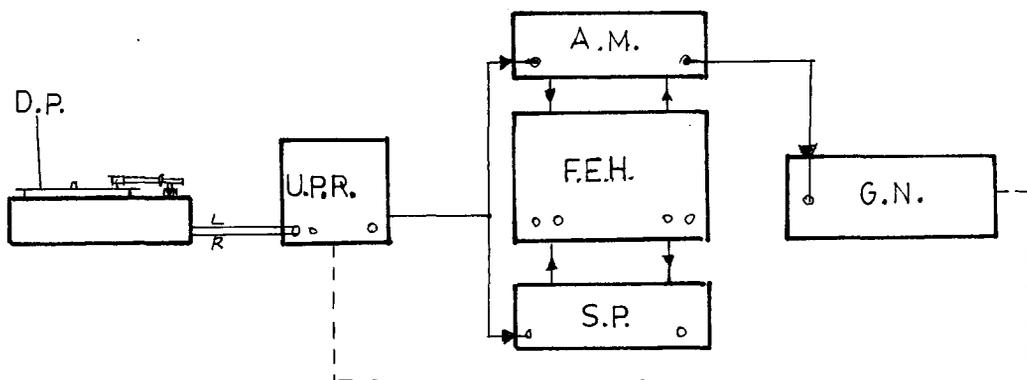
Cuando se necesitan gamas dinámicas y de frecuencias mayores de las que se pueden alcanzar con los sistemas anteriores utilizaremos el Analizador Heterodino, con el cual abarcaremos una gama de frecuencias de 2Hz a 200KHz y una gama dinámica de 80dB (0'01% de distorsión). Si por ejemplo queremos medir la distorsión producida en un enlace completo de telecomunicaciones, deberemos usar el Sintonizador de Percusión o la Unidad de Mando para Medidas de Distorsión. El filtro de banda estrecha del Analizador se sintonizará al componente de distorsión elegido por el sintonizador. Con este Sintonizador sólo se obtendrá la distorsión

armónica, mientras con la Unidad de Mando de Medida de Distorsión se podrán medir las de intermodulación y por diferencia de frecuencia. Ej.21-



Si queremos medir la distorsión habida en los captadores de tocadiscos, emplearemos los discos de prueba (QR 2009, QR 2010) en lugar del generador. Estos discos contienen un barrido senoidal que se puede sincronizar con el registrador de nivel mediante la Unidad de Prueba de Respuesta.

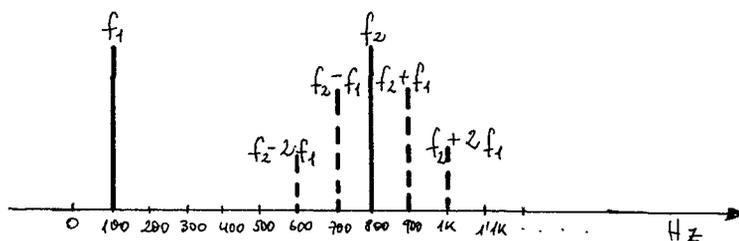
Ej.22-



4.2.- La interacción de los componentes de una señal compleja para producir componentes de frecuencia no encontrados en la señal original se denomina DISTORSION DE INTERMODULACION (IM).

Los sistemas no lineales causan este tipo de distorsión debido a la modulación en amplitud y frecuencia de los componentes de frecuencias más altas por los componentes de frecuencia más bajos. Si por ejemplo, en un sistema no-lineal introducimos señales de 100Hz y 800Hz. La señal resultante contiene componentes de distorsión que son bandas laterales alrededor de 800Hz. La frecuencia de las bandas laterales son igual a la suma y diferencia de la frecuencia superior (800Hz) y el múltiplo entero de la frecuencia más baja: $800\text{Hz} \pm 100\text{Hz}$; $800\text{Hz} \pm 200\text{Hz}$; $800\text{Hz} \pm 300\text{Hz}$; y así sucesivamente.

Fig. 13-

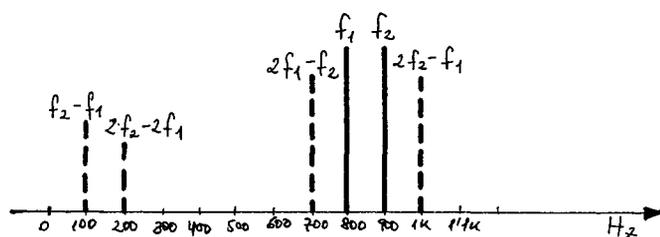


4.3.- La DISTORSION DE DIFERENCIA DE FRECUENCIA es un especial caso de distorsión de intermodulación que sólo considera las componentes de frecuencia original y sus armónicos, puesto que la distorsión de intermodulación considera ambas suma y diferencia de componentes.

Como veremos en la siguiente figura, dos tonos de muy cercanas frecuencias son introducidos en el sistema, y los componentes resultantes de distorsión que, son descritos ma-

temáticamente como la diferencia entre las dos frecuencias originales. Así que, las mediciones de diferencia de frecuencia ignoran los productos de suma que frecuentemente están situados fuera del rango audible.

Fig. 14-

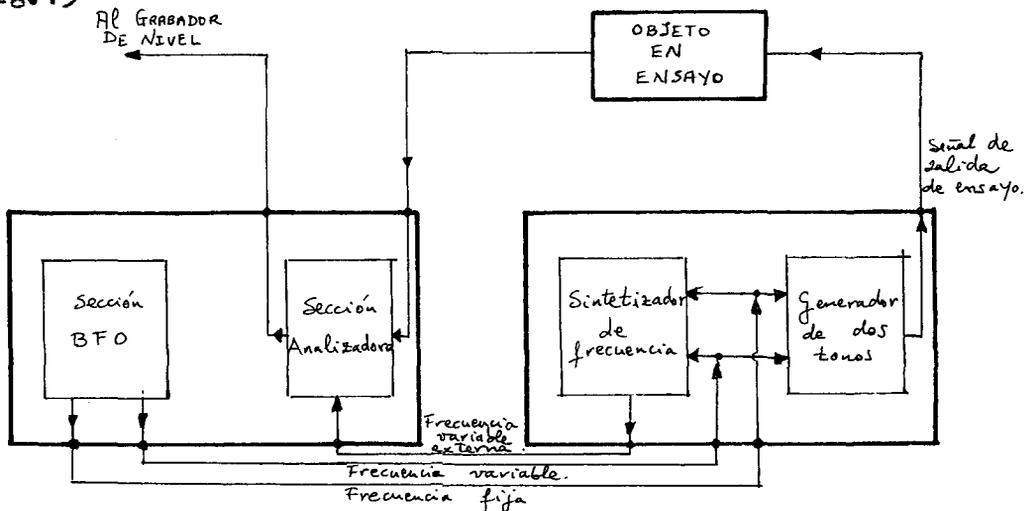


El valor de las mediciones de diferencia de frecuencia es que pueden ser usadas para mediciones de distorsión al límite de frecuencia superior de un sistema desde los componentes de distorsión que todavía caen dentro del rango de frecuencias de interés.

El Orden de Distorsión es usado para describir la afinidad de frecuencia de un componente de distorsión dada a la señal de entrada. Para la distorsión armónica, el orden de distorsión es igual al número de armónicos. Para la distorsión de intermodulación y de diferencia de frecuencia los componentes de distorsión siempre serán de la forma $A \sin(nw_1 \pm mw_2)$ donde "A" es la amplitud, "n" y "m" son enteros, y " w_1 " y " w_2 " son las dos frecuencias experimentadas. El orden de distorsión será $(n+m)$ y el signo + y - indican si es una suma o diferencia de componentes.

La mayoría de las mediciones de distorsión de intermodulación son hechas usando dos tonos, que parece ser una aproximación razonable de una señal compleja. Por tanto uti-

Fig. 15-



controla el barrido de sincronismo de un oscilador de alta frecuencia en el Analizador Heterodino por medio de un eje de conducción mecánico(o por medio de una rampa de voltaje). La frecuencia de este oscilador está en el rango de 1'2MHz a 1'0MHz y después de mezclada será usada para generar un barrido de frecuencia baja desde 0 a 200KHz. Esta señal de alta frecuencia está alimentada a la Unidad de Medición de Distorsión que convierte la alta frecuencia a la salida de tono de ensayo de baja frecuencia. La Unidad de Control de Medición genera un segundo tono que es también una diferencia de frecuencia fija desde el primer tono(usado en el modo de diferencia de frecuencia) o ,en el modo de intermodulación el segundo tono es una frecuencia fija.

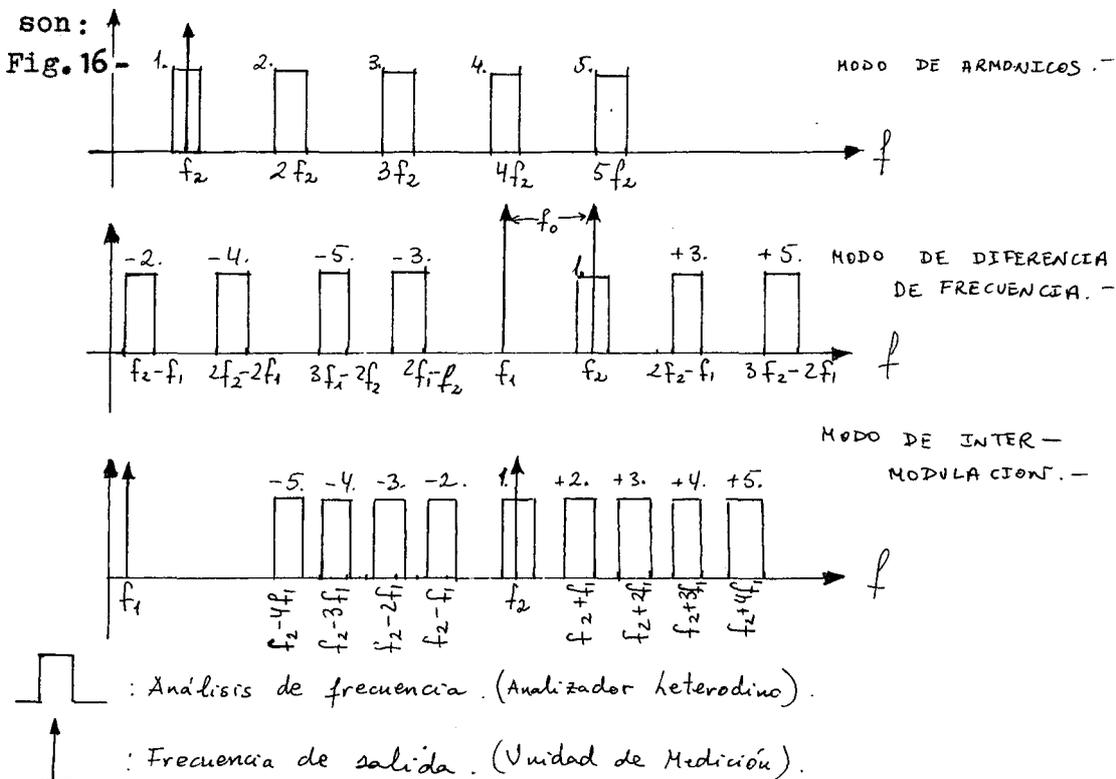
Estos dos tonos son aplicados al objeto de ensayo. La salida del objeto de ensayo es alimentada a la entrada del Analizador Heterodino. Este analizador da un voltaje de salida proporcional al nivel de distorsión en una frecuencia dada,

y alimenta ésta al generador de nivel que da un registro permanente.

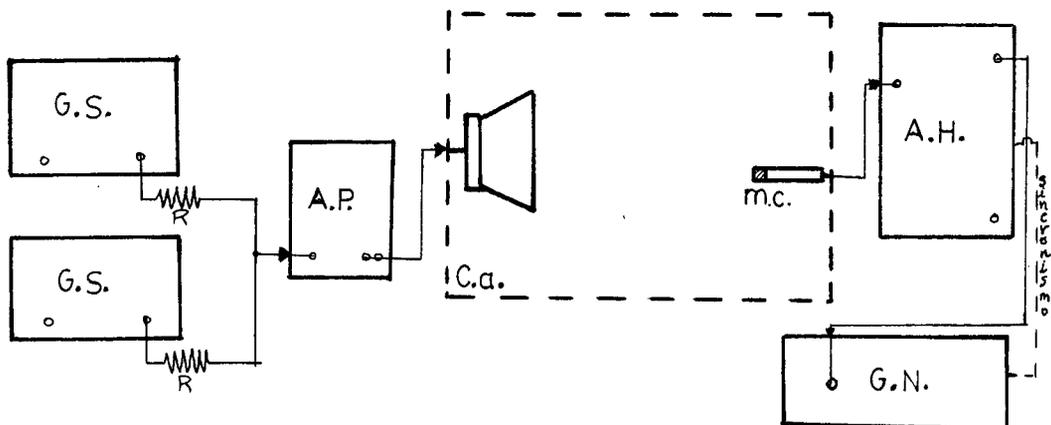
La sintonización del analizador es realizada automáticamente por la Unidad de Control de Medición de Distorsión, la cual genera la necesaria señal de control para sintonizar el analizador al componente de distorsión deseado.

Esta Unidad de Control de Medición tiene tres botones en el panel frontal que seleccionan cualquiera de los modos de distorsión. El orden de distorsión y los interruptores "+" y "-" seleccionan qué componentes de distorsión serían medidos.

En el panel frontal existen unos gráficos que ilustran todas las posibles combinaciones o posiciones relativas de las frecuencias de prueba generadas por la Unidad de Mando y las frecuencias analizadoras del analizador Heterodino para los tres tipos de distorsión, y que



lizaremos dos generadores sintonizados a frecuencias diferentes y analizaremos luego la salida con el Analizador Heterodino, y obtendremos un gráfico que indicará los distintos componentes de la distorsión y sus amplitudes.
Ej.23-



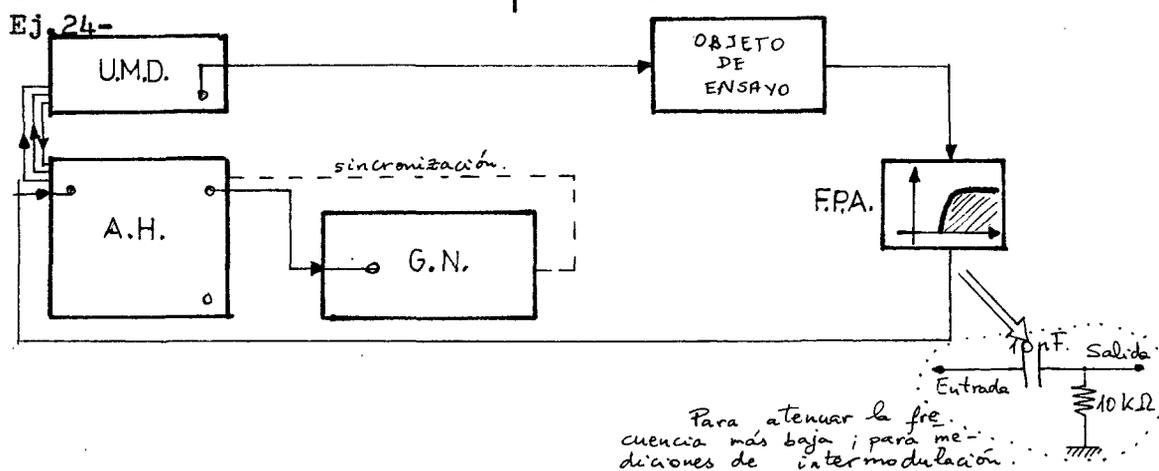
Este sistema sólo da información sobre dos frecuencias particulares, por lo que se hacen necesario muchos gráficos de este tipo para obtener una imagen suficiente del comportamiento del aparato.

Podemos disponer de un sistema que permite la medida de distorsión mientras se barren las frecuencias de prueba, usando la Unidad de Mando para Medida de Distorsión en combinación al Analizador Heterodino. Este sistema permite las mediciones de distorsión armónica, de intermodulación y de diferencia de frecuencia en un amplio rango dinámico y de frecuencias. El sistema tiene una salida dirigida al grabador de nivel. Este es adaptado con papel impreso logarítmico en el que las curvas de distorsión resultantes son dibujadas automáticamente. Cuando el grabador está corriendo

El potenciómetro de control de frecuencia es usado para fijar la frecuencia más baja (f_1) en el modo de intermodulación dondequiera desde 20Hz a 2KHz. En el modo de diferencia de frecuencia el potenciómetro es usado para fijar la diferencia de frecuencia entre los dos tonos de ensayo.

Un atenuador de precisión de salida y un potenciómetro de voltaje de salida permiten el ajuste del voltaje de salida sobre un amplio rango dinámico desde unos 100 μ v. a 10v.RMS.

La distorsión originada por la combinación Analizador/ Unidad de Control es muy baja. En el rango desde 100Hz a 100KHz la distorsión es menor del 0'02%, y menor del 0'03% en el rango de 15Hz a 200KHz, medida en algún componente de distorsión en algún modo. La distorsión de segundo y tercer orden es típicamente menor del 0'01%, y la de cuarto y quinto orden menor de 0'004%. De cualquier forma, en el modo de intermodulación estas figuras deben ser mejoradas por un factor de alrededor de 3, poniendo un filtro de paso alto entre la salida del objeto de ensayo y la entrada del analizador, para filtrar la frecuencia f_1 a ensayo.



El único ajuste, será seleccionar el modo de distorsión deseado y el orden de distorsión siendo medida. Luego fijamos el voltaje de salida alimentado al amplificador, y medimos el voltaje que salga del amplificador en el medidor incluido en el analizador. La ganancia de la sección de entrada del analizador fijaría así el medidor que da precisamente una deflexión de escala completa con la unidad analizadora en el modo lineal. Esta ganancia optimiza el rango dinámico del analizador. Si este nivel es excedido, la especificación de distorsión del analizador no es garantizada. Este ajuste sería hecho con la sección atenuadora de salida del analizador en ($\times 1$): La ganancia del grabador de nivel puede entonces ser calibrado para corresponder a la deflexión del medidor del analizador,

Para un rango dinámico óptimo, la sección de atenuador de salida del analizador se usaría para incrementar la ganancia para medir los niveles de distorsión más bajos. Este control llega a dar 60dB de ganancia extra y se fijaría, tal que al punto de distorsión máxima, la distorsión da fin para llenar la deflexión del medidor de escala. Este ajuste está hecho con el analizador heterodino en el modo "selectivo" que es usado para todas las clases de mediciones.

Generalmente al Grabador de Nivel se le adapta un potenciómetro de 50dB. Aunque a veces el nivel de distorsión puede variar mucho en un amplio rango dinámico, y usaremos un potenciómetro de 75dB.

Un objeto de ensayo típico puede ser un amplificador

de potencia para la medición de distorsión de intermodulación. Las mediciones son hechas a diferentes niveles de potencia para determinar el rendimiento (funcionamiento), en niveles medios y bajos para medir la distorsión de "crossover".

Los gráficos correspondientes a un amplificador B mostrarán la distorsión más alta en las altas frecuencias, que puede ser debido al uso de un amplificador operacional con muy pequeño ancho de banda de lazo abierto en la entrada.

El amplificador A tiene más alta distorsión sobre mucho del rango de frecuencia; pero su distorsión no se incrementa tanto en las más altas frecuencias como lo hace el B. Lo cual indica que el amplificador usa transistores con más amplio ancho de banda de lazo abierto que el amplificador B, y también utiliza menos realimentación.

Si la salida del amplificador no es protegida de corto circuito, el cuidado sería llevado para prevenir corto circuitos cuando conectamos su salida a la instrumentación de medición; lo cual podría ocurrir si conectamos el cable a la entrada del analizador y accidentalmente tocamos la clavija del centro del conector (adaptador) a la manga de tierra del enchufe de entrada,

La entrada del analizador se conecta directamente a los terminales de salida del amplificador de potencia bajo test. No debe conectarse a la carga porque la longitud del cable desde la salida del amplificador a la carga causará una caída de voltaje debido a la entrada de corriente producida por el amplificador. Esta caída de voltaje será incluida en la medición, ya que el analizador tiene una entra-

da desequilibrada.

Este sistema de instrumentos produce una toma de tierra que puede alterar el amplificador bajo test. Esto puede ocurrir simplemente desconectando el cable de tierra de entrada del analizador en el final del amplificador de potencia. Esta conexión de tierra no es necesaria para la medición ya que el analizador tiene también una referencia de tierra a través del cable de salida desde la Unidad de Control de Medición a la entrada de tierra del amplificador. Si la entrada del amplificador que es testeada, es balanceada (equilibrada), o si la conexión interna de tierra entre la entrada y la salida del amplificador de potencia no es de un valor ohmico bastante bajo la conexión de tierra del analizador puede ser necesaria.

Si queremos medir la distorsión producida por un magnetófono, deberemos tener en cuenta la velocidad de barrido máxima debida al retraso de tiempo entre las cabezas de registro y reproducción.

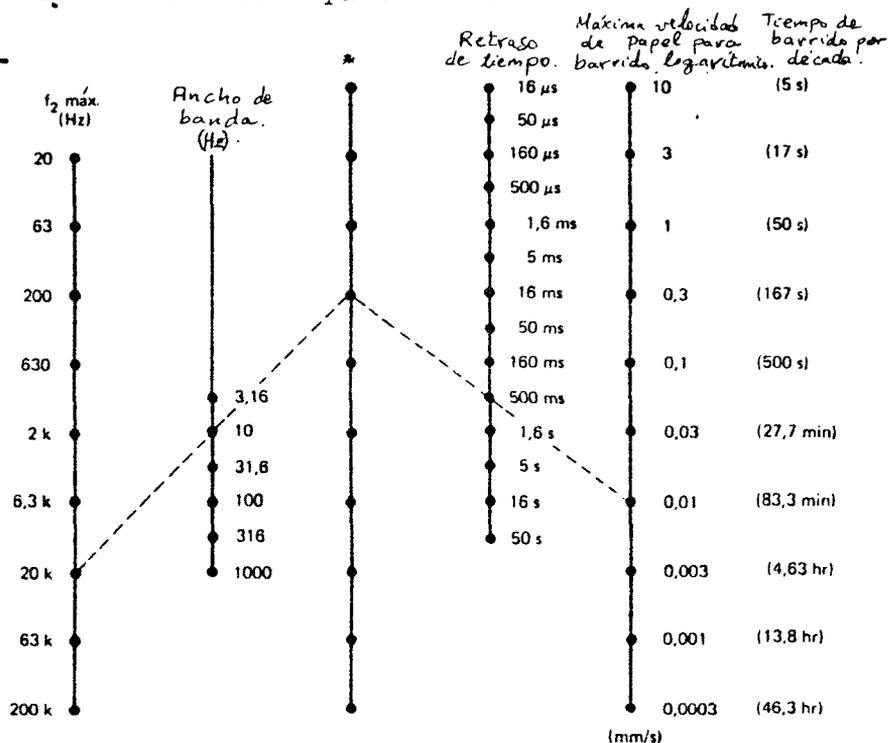
Si el barrido es demasiado rápido, el filtro de análisis habrá de moverse en una frecuencia más alta que la frecuencia del armónico que viene de la cinta siendo producida. Por tanto el barrido debe ser lento.

Para determinar la velocidad de barrido óptima para sistemas de retraso de tiempo, utilizaremos el "nomógrafo", y lo haremos de la forma siguiente:

a.-Dibujar una línea de la frecuencia máxima a través del ancho de banda desado a la línea vertical con una estrella.

b.-Desde la intersección con la línea estrellada, dibujar una línea recta a través del retraso de tiempo del sistema a la intersección con la línea de velocidad del papel. Esto da la máxima velocidad de papel del grabador de nivel en mm/sg usando un barrido logarítmico. El tiempo de barrido por década es dado entre paréntesis.

Fig. 17-



Para la medición de distorsión armónica, la velocidad de papel debe dividirse por el orden de distorsión. ($n=1$ a 5).

El nomógrafo está basado en la fórmula:
$$P \leq \frac{10 \cdot B}{f_{mX} \cdot t_d}$$

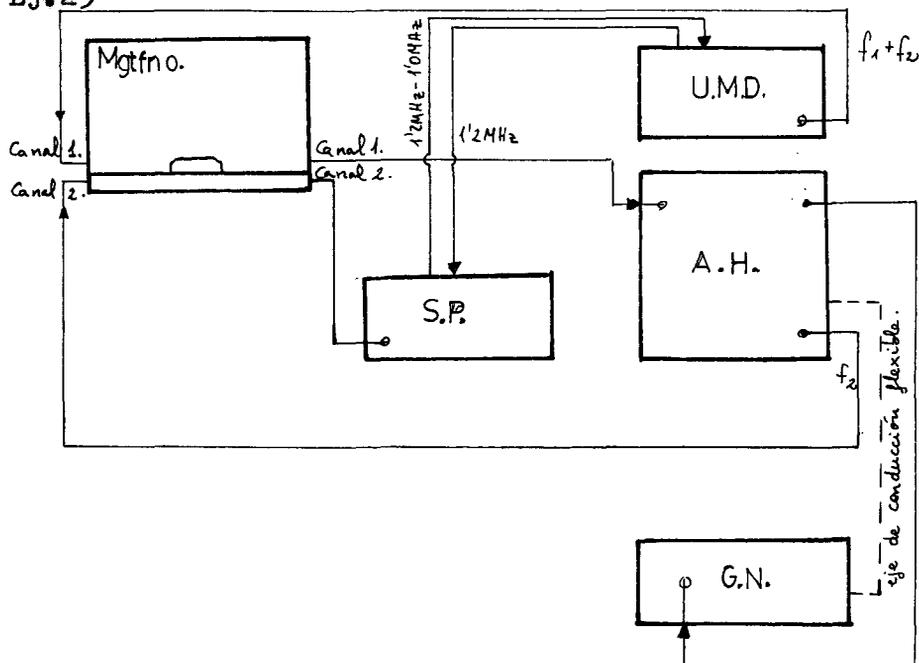
donde: P=velocidad del papel; B=ancho de banda del filtro de análisis; f_{mX} =frecuencia máxima; y t_d =retraso de tiempo del sistema.

Si se obtienen tiempos de medida largos se acortarán usando un ancho de banda más grande o usando un tipo de barrido más alto en frecuencias más bajas.

Si queremos obtener la característica de distorsión

de intermodulación de la sección de reproducción del magnetofono, una cinta de prueba especial es preparada, y un Sintonizador de Percusión es añadido al sistema, como se ve en la figura siguiente:

Ej. 25-

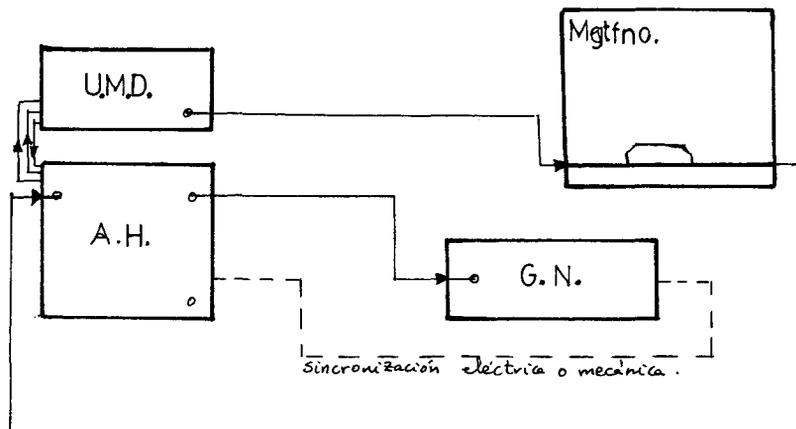


Utilizamos el sintonizador cuando testeamos un magnetofono que es sólo un reproductor, o cuando el grabador no tiene separadas las cabezas de registro y reproducción.

La cinta de prueba es preparada para grabar f_2 , la frecuencia de salida del BFO del analizador en un canal, para usarse como un tono de control piloto durante la reproducción, mientras simultáneamente se graba la señal de doble tono de prueba desde la señal del analizador en el otro canal. Para la reproducción el tono piloto es alimentado a la entrada del analizador, el cual genera la señal de 1'2MHz a 1'0MHz necesaria para ser conectada a la trasera de la Unidad de Control de Medición. Esta sintonizará el analizador

al componente de distorsión deseado. Una salida DC (proporcional a la frecuencia de entrada del sintonizador) es conectada a la entrada X del grabador de nivel para controlar la tirada de papel y la sincronización permitida.

Pero si las medidas de distorsión por diferencia de frecuencia y de intermodulación se realizan en un magnetófono que tiene capacidad de registro y reproducción simultáneo, ya no habrán de preparar una cinta de prueba, y por tanto no necesitaremos el sintonizador. El sistema será ahora: Ej.26-



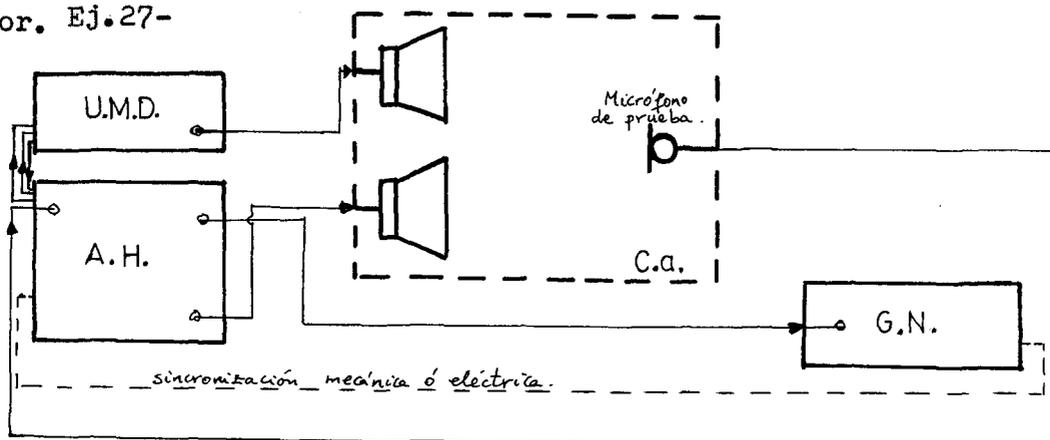
Si queremos medir la distorsión armónica la Unidad de Mando de Medición proporciona un sólo tono de salida en la gama de 2Hz a 200KHz, sincronizándose automáticamente el analizador con el grabador de nivel.

Si medimos la distorsión de diferencia de frecuencia, la Unidad de Mando producirá dos frecuencias que se barren simultáneamente manteniendo constante la diferencia entre ellas; la cual es ajustable en la gama de 2Hz a 2KHz. El analizador se ajusta para que siga cualesquiera banda de dis

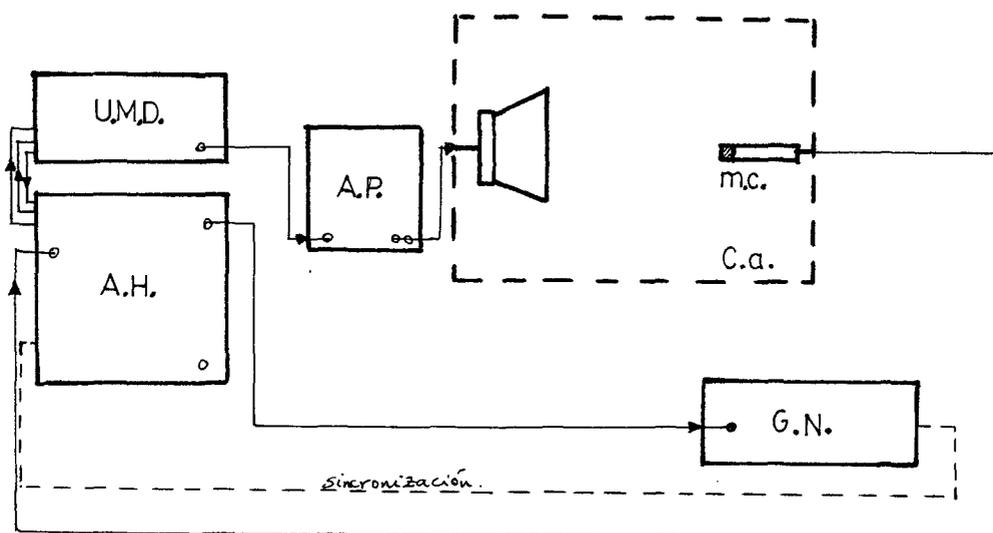
torsión hasta el 5º orden y el resultado lo recogerá el gra
bador de nivel automático.

Si medimos la distorsión de intermodulación, la Unidad de Mando de Medición proporciona dos frecuencias, donde la frecuencia inferior es fija (pero seleccionable entre 20Hz y 2KHz) mientras se barre la superior, y el analizador se sintoniza a las bandas laterales, superior o inferior del tono más alto. Como se especifican en varias normas la relación de amplitudes es de 4 a 1; es decir, de 12dB; aunque se pueden obtener cualquier otra relación de amplitudes.

Para medir las distorsiones de intermodulación y de diferencia de frecuencia de micrófonos, usaremos dos altavoces, uno para cada frecuencia testeada, en orden a eliminar la distorsión de diferencia de frecuencia y de intermodulación de estos altavoces. La frecuencia de prueba f_2 se obtiene directamente del analizador, y la f_1 es suministrada de la salida de la unidad de control de medición, con la señal f_2 desconectada por medio del interruptor "parada de generador. Ej.27-



Si queremos medir la distorsión de un altavoz debemos saber que existirá un retraso de tiempo en el sistema, pero no será bastante para restringir los tipos de barrido en muchos de los casos. Esto puede determinarse en casos individuales por el nomógrafo. El sistema de medición de las distorsiones de los altavoces será: Ej.28-



Un altavoz eficiente puede ser conducido directamente por la Unidad de Control, mientras que uno que no lo es, necesitaría de un amplificador de potencia. Debido a pequeñas dimensiones y un amplio rango de frecuencias será necesario un micrófono de condensador de 1/2".

También se pueden medir distorsiones producidas por componentes como pueden ser resistencias o condensadores.

Algunos discos de prueba son avalables para las mediciones de distorsión de intermodulación usando dos frecuencias fijas. El analizador heterodino se usa para medir esta distorsión, para ejecutar un barrido en el rango de fre

cuencias relevante para dar un grabado de las frecuencias y amplitudes de los diversos componentes de distorsión.

La distorsión de diferencia de frecuencia también puede ser medida usando discos de prueba que tienen un barrido de prueba de dos tonos separados por una frecuencia fija. El analizador puede ser sintonizado a la diferencia de frecuencia, y el resultado grabarlo en el Registrador de nivel.

4.4.- Un tipo de distorsión que se produce por el retraso en el lazo de realimentación de los amplificadores y el correspondiente recorte de la señal realimentada, es llamado DISTORSION POR INTERMODULACION DE TRANSITORIOS (TIM).

Básicamente se origina cuando se le inyecta al amplificador una señal en salto o transitoria. Estas señales producen sobrecarga del amplificador y recorte de la señal. Entonces, la realimentación del amplificador y el tiempo de subida decrecen, de modo que el sistema se comporta como más lento en su control.

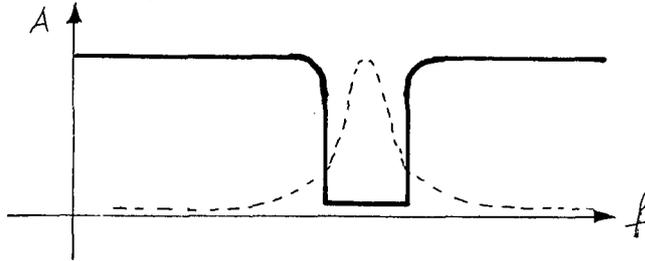
Según "Ojala" existe una correspondencia entre la calidad audible y la TIM, la cual depende de la relación de la banda pasante del amplificador de potencia y del nivel de realimentación.

Existen varias formas de medición de TIM:

4.4.1. - Basada en el empleo de una señal de ruido rosa de banda ancha en la que se ha suprimido una banda de por ejemplo 1/3 de octava. El lado receptor se provee de un filtro paso de banda correspondiente a la suprimida y se mide la energía

existente en ella, que en un sistema perfecto sería nula. Al ser la señal de prueba de ruido aleatorio y que se considera de naturaleza análoga a los transitorios, el sistema de medida explicado podrá captar las distorsiones armónicas, de intermodulación y la TIM.

Fig.18-



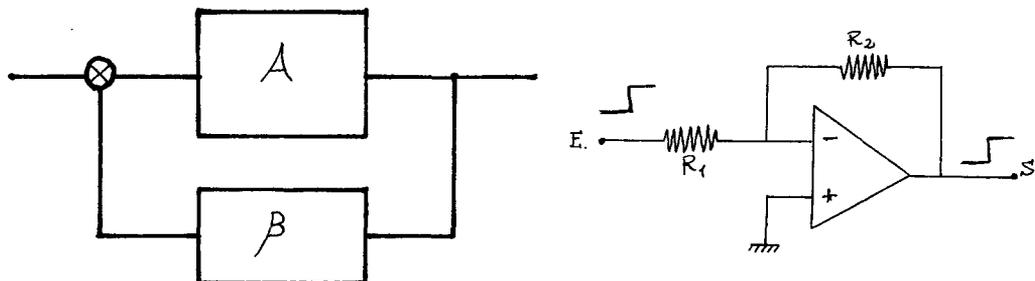
442. -Basada en el empleo de una señal cuadrada de baja frecuencia a la que se le superpone otra senoidal de alta frecuencia. Examinando el espectro de frecuencia aplicaremos la influencia de la distorsión considerada. Esta medida se realizará usando la combinación Analizador/Unidad de Control de Medición (al igual que la anterior), incorporando un disipador de Schmitt a la salida de esta unidad para convertir f_1 en una onda cuadrada.

443. -Con el sistema Analizador/Unidad las medidas de intermodulación por barrido se pueden realizar hasta 200KHz, y es a las frecuencias por encima de 20KHz cuando muchos amplificadores presentan una acusada elevación de su distorsión debido a sus restringidos regímenes de cambio de frecuencia slew, etc. Por tanto utilizaremos las medidas de distorsión de intermodulación por barrido de alta frecuencia como medida normalizada de la distorsión por intermodulación de transitorios.

Sea un amplificador con amplificación A y realimen-

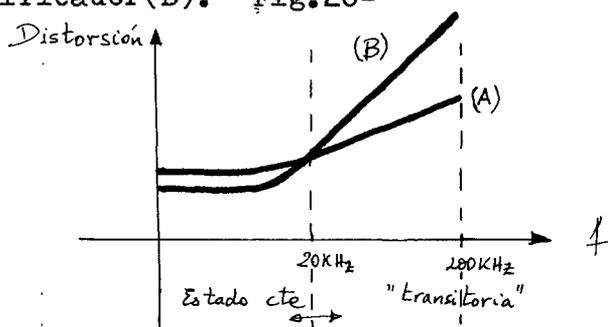
tación β , cuya distorsión de estado constante se reduce a

$$\frac{1}{1 - A \cdot \beta} \cdot \text{Fig. 19-}$$



Para producir una distorsión por intermodulación de transitorios había que introducir en el sistema una función transitoria o de saltos. Si lo hacemos, cuanto más realimentación habrá mayor distorsión transitoria.

En la siguiente figura veremos que un amplificador (A) tiene una realimentación menor con lo cual éste tendrá una distorsión de estado constante más alta, pero una distorsión transitoria más baja que la que tuviera otro amplificador (B). Fig. 20-



5.-. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LAS SALAS REALES DE AUDICION CON RUIDO ALEATORIO ROSA DE 1/3 DE OCTAVA.-

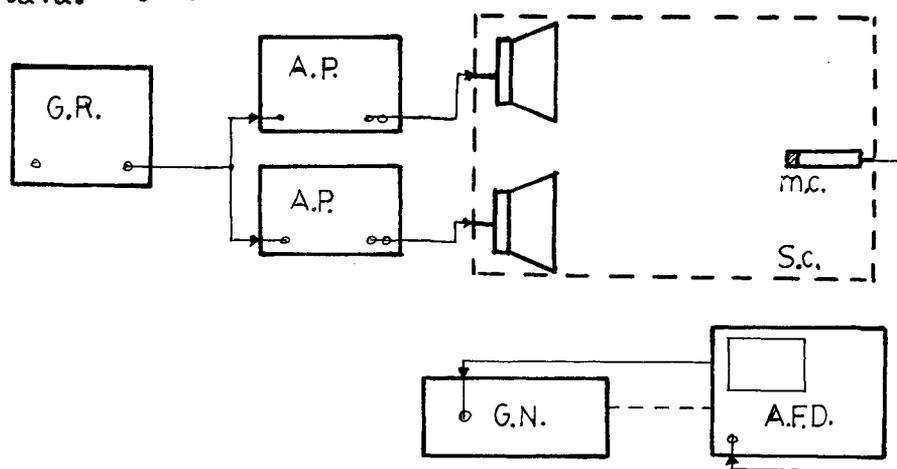
Utilizando este método se demuestra que los locales ejercen sobre los altavoces influencias definitivas, por lo

cual es necesario tener en cuenta la influencia del local en la medida de las características de los altavoces.

Existen varios métodos de medida por tercio de octava, entre los cuales se encuentran:

5.1. -Medida de altavoces con tercio de octava empleando el Analizador en Tiempo Real.

Un generador de ruido envía una amplia banda de ruido rosa a través del sistema y un Analizador de tiempo real es usado como el instrumento de medida. Este Analizador presenta simultáneamente el nivel de todas las bandas de $1/3$ de octava. Ej.29-



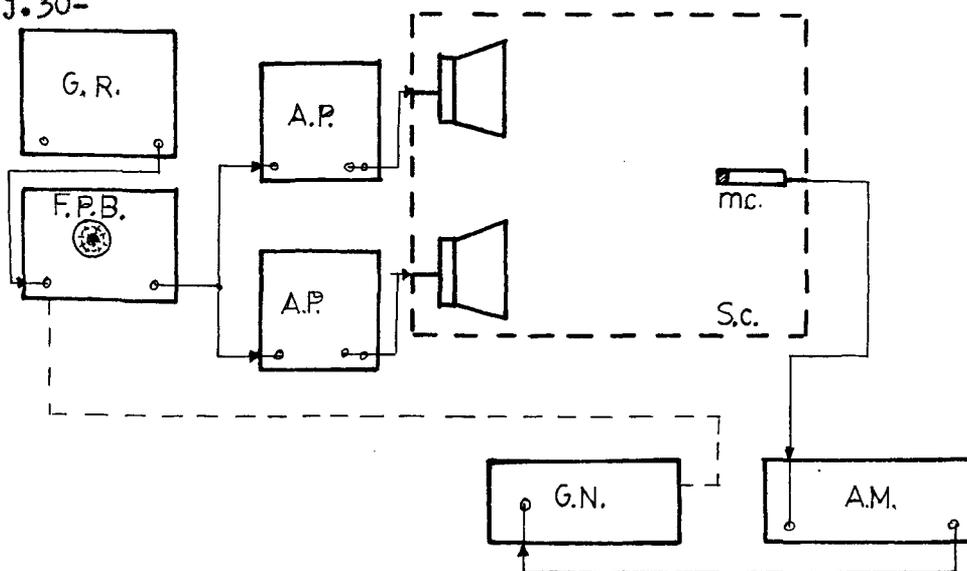
5.2.-Medidas sucesivas de respuesta con tercio de octava.

Consiste en el empleo en cada momento de una banda de $1/3$ de octava y el trazado de los resultados en el registrador de nivel.

Este método es más lento que el método de tiempo real ya que tenemos que tomar 30 mediciones, una por cada $1/3$ de

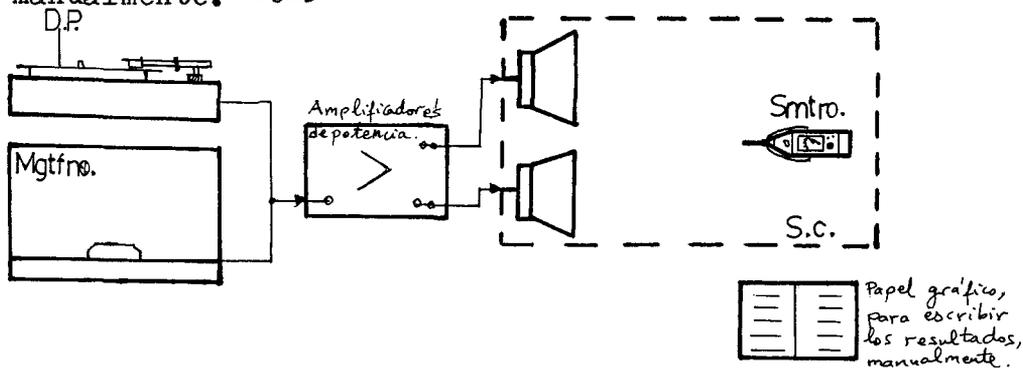
octava, mientras en el método de tiempo real el analizador presentaba todas las medidas simultáneamente.

Ej.30-



5.3.-Medida con tercio de octava usando el disco de prueba de ruido rosa.

Este método emplea el disco de prueba, tipo QR 2011 en lugar del generador. Este disco contiene las bandas de ruido de tercio de octava. El micrófono y el amplificador de medida son reemplazados por el sonómetro y el grabador de nivel por un papel gráfico especial, cuya curva se graba manualmente. Ej.31-



6.-.MEDIDA DEL TIEMPO DE REVERBERACION.-

La reverberación es definida como la caída de la energía sonora en un recinto después de que la fuente sonora ha cesado de emitir. Generalmente, para una banda de frecuencias dada, esta caída tiene lugar aproximadamente (exponencialmente) con un tiempo después de las primeras reflexiones.

Entonces el proceso de reverberación puede ser descrito por el tiempo de reverberación (T), que se define como el tiempo que el nivel sonoro presente en el recinto tarda en caer 60dB al interrumpir bruscamente la fuente que lo produce.

La cantidad conocida como la "razón de caída" (d), es relacionada con el tiempo de reverberación de la forma:

$T = \frac{60}{d}$; donde "d" es la razón de caída del nivel de presión sonora en dB por segundos.

La medición del tiempo de reverberación consiste básicamente en introducir una fuente de ruido en un recinto. Esta fuente sonora es abruptamente cortada y las razones de caída de los niveles de presión sonora a varias frecuencias son medidas usando unos aparatos de grabación adecuados, como pueden ser los grabadores de nivel.

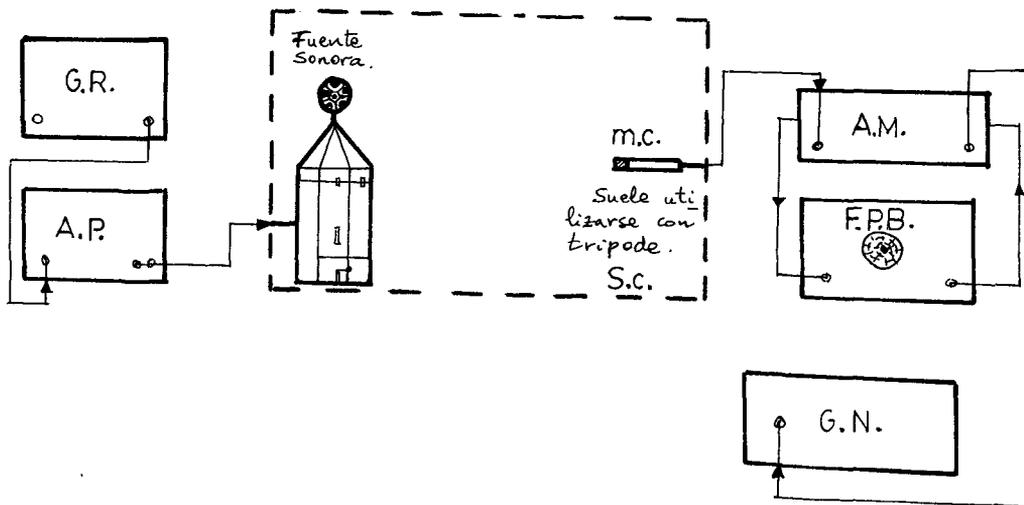
El tiempo de reverberación varía con la frecuencia, con lo cual el sistema transmisor o receptor se hace selectivo en frecuencia.

La recepción selectiva aumenta la gama dinámica del sistema al atenuar el ruido de fondo. La transmisión selectiva reduce la potencia necesaria en el transmisor.

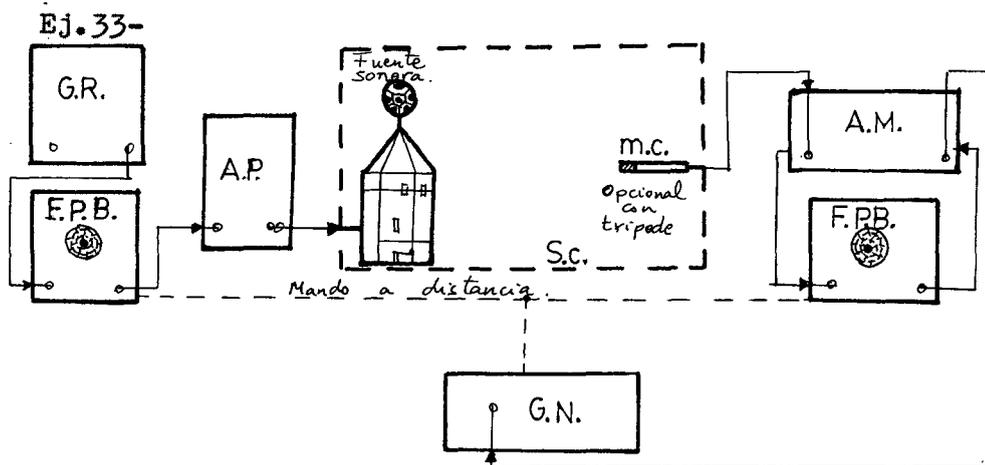
Para la excitación selectiva se puede usar bandas estrechas de ruido o una señal senoidal con variación cíclica de frecuencia subaudible (warbled). La señal de ruido presenta la ventaja de que se excitan simultáneamente muchas resonancias del local.

6.1.-Un generador senoidal de azar produce el ruido de banda estrecha de ancho constante. Y un generador senoidal de azar con ruido rosa o un generador de ruido, filtrándolo con un juego de filtros, producirán el ruido con banda de proporción constante.

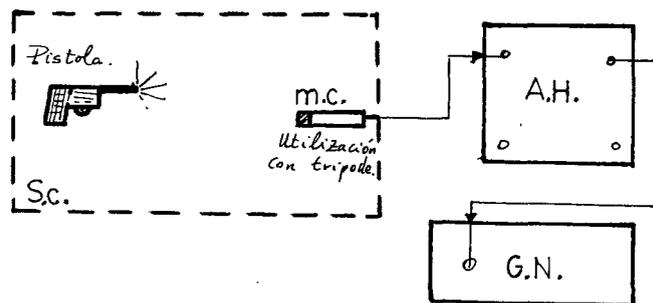
El sistema para la medida del tiempo de reverberación será entonces: Ej. 32-



6.2.-En el sistema de medida siguiente (próxima página), veremos un sistema con transmisión y recepción selectivas simultáneamente que servirá para medir automáticamente el tiempo de reverberación.

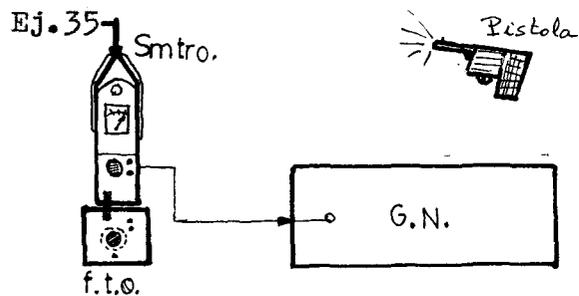


6.3.-Un método alternativo de medición es el de excitar el recinto o auditorio mediante el uso de un disparo de pistola.
Ej. 34-



Existen otras medidas, como pueden ser la del tiempo de reverberación según el método del impulso de tono integrado, y que se realiza mediante un Procesador de Reverberación. Este sistema produce curvas muy suaves y reproducibles y da una cifra que puede ser más rigurosa de la pendiente inicial de la curva, que las basadas en el ruido o señal senoidal modulada (warbled).

El tiempo de reverberación se puede medir también mediante un sonómetro acompañado de un juego de filtros, un grabador de nivel, siendo la fuente sonora la pistola.



IV-INSTRUMENTOS UTILIZADOS

1-. SONOMETRO .-

Es un aparato que responde al sonido de forma aproximadamente igual que el oído humano y que da medidas objetivas y reproducibles de su nivel.

Un sonómetro, como veremos en su diagrama de bloque, consta de :

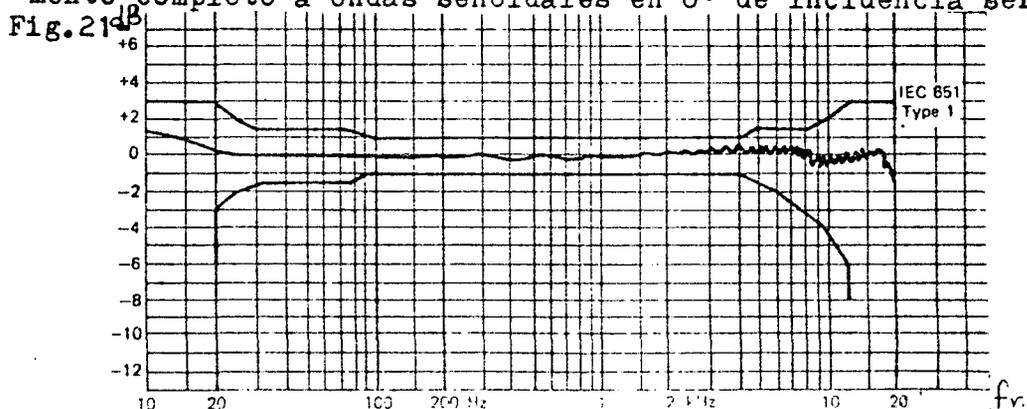
-Micrófono de alta calidad. Este transforma la señal sonora en eléctrica. El micrófono debe ser un micrófono de condensador de precisión, ya que éstos son altamente estables y realizables, debiendo tener las siguientes características:

a) Deben presentar una respuesta en frecuencia uniforme, es decir, el micro debe tener la misma sensibilidad a todas las frecuencias.

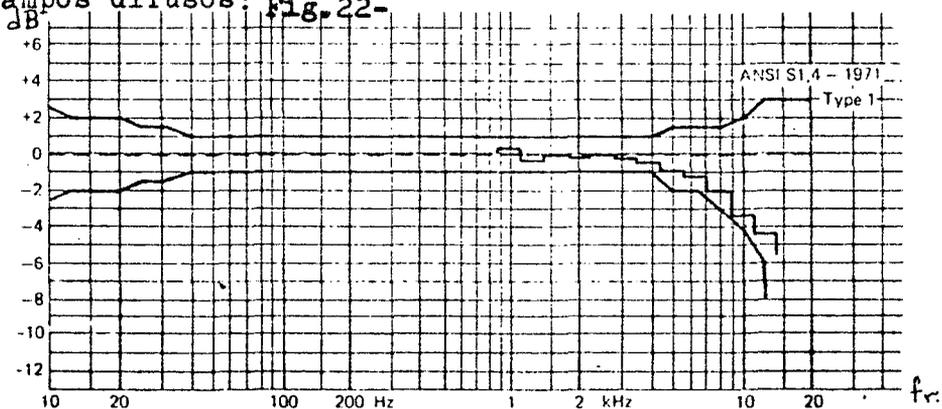
b) Deben ser igualmente sensibles a los sonidos que lleguen de cualquier ángulo, lo cual podemos llamarlo característica omnidireccional.

Este micrófono debe tener una respuesta lineal en un campo libre cuando la onda sonora está a 0° de incidencia al eje de la línea central (perpendicular al diafragma).

La respuesta en frecuencia de campo libre del instrumento completo a ondas senoidales en 0° de incidencia será:



El sonómetro también tiene una respuesta lineal en campos difusos: Fig. 22-



En general, entre más pequeño sea el micrófono mucho mejor es su omnidireccionalidad, pero a su vez tiene menor sensibilidad, lo cual suele ser inaceptable.

Este micrófono de condensador tiene una sensibilidad de 50 mV/Pa con voltaje estándar de polarización de 200 v.

Esta clase de microfonos son extremadamente seguros, y no son afectados por rangos amplios de temperatura y humedad.

Su diafragma está cubierto de cuarzo para protegerse de medios ambientes muy húmedos y corrosivos.

Amplificadores.

El amplificador de entrada tiene una impedancia de entrada alta, que permite mediciones a bajas amplitudes y baja frecuencia con micrófonos de alta impedancia y acelerómetros.

El oscilador de referencia está acompañado por un sistema de potenciómetros de ganancia ajustable.

Los amplificadores de entrada y salida están precedidos por un atenuador.

La respuesta en frecuencia es lineal desde 10Hz a 40KHz (2 dB) a menos que los sistemas de ponderación A,B o C, sean conectados, o un filtro externo de octava y tercio de octava sea conectado.

Una salida AC es proporcionado para la conexión de cascos o grabadores.

-Circuito rectificador y Medidor.

El Detector RMS acomoda señales con factor de cresta hasta 5, y tiene Medidor "Rápido" y "Lento".

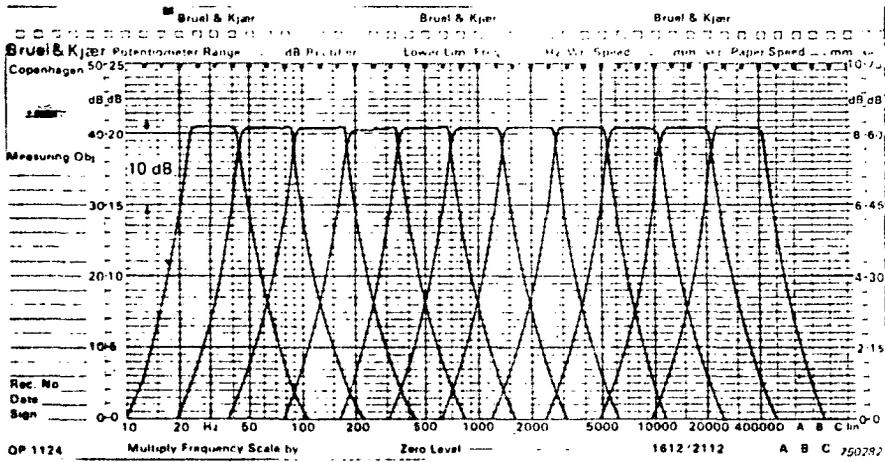
La escala del medidor está graduada desde -10dB a +10dB. La condición de batería puede ser leída en una subes^{ca}cala. Esta escala puede ser utilizada también para fijar el K-factor de sensibilidad del micrófono cuando el oscilador de referencia es usado para calibrar.

Para mediciones en áreas de luz pobre el sonómetro tiene una lámpara de medidor.

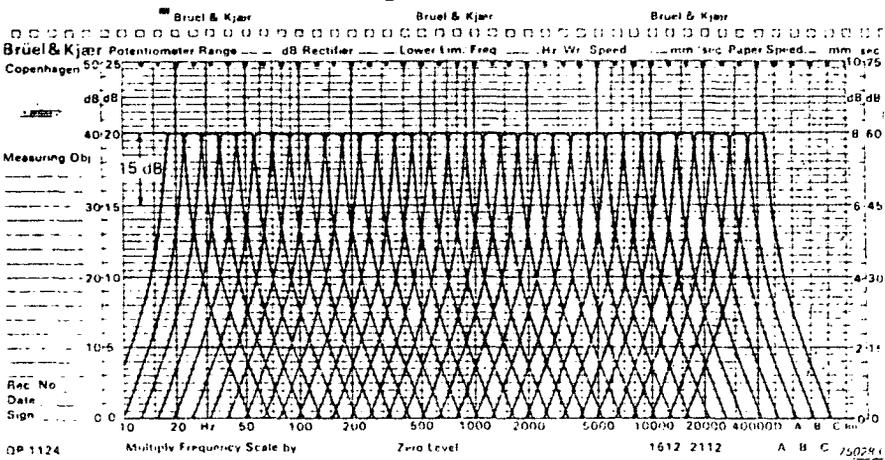
Para análisis de ruido y vibración se suelen utilizar unos juegos de filtros de octava o tercio de octava junto con el sonómetro.

Estos juegos de filtro avarcan un rango de frecuencias audibles. Sus frecuencias centrales están puestas de acuerdo a las normas internacionales ISO R266, DIN 45401, y ANSI S1.6-1960, y los filtros pueden seleccionarse por medio de un interruptor de selección, para realizar el análisis de frecuencia. El nivel en cada banda de frecuencia puede ser anotado en un papel de medición o en un grabador de nivel.

La característica de frecuencia de los 11 filtros de octava son: Fig.23-



La característica de frecuencia de los 34 filtros de tercio de octava son: Fig.24-



2 -. UNIDAD DE PRUEBA DE RESPUESTA .-

La Unidad de Prueba de Respuesta forma la unión entre los programas de referencia grabados sobre los discos de prueba QR 2009, QR 2010, QR 2011, o en los grabados de cinta, y un extensivo rango de instrumentos de prueba de sistemas de audio.

Este instrumento se encarga de proporcionar la sincronización automática adecuada del barrido del Registrador de Nivel, en la grabación de cintas de prueba normales para la medición de respuesta en reproducción.

En casos donde la posibilidad de grabar está incluida en el aparato bajo prueba (grabadores de cintas, máquinas de dictado, etc.), las grabaciones de referencia pueden ser hechas por medio de un grabador senoidal, automáticamente barrido por el Grabador de nivel.

Tiene unos interruptores que permiten la selección de canales en sistemas estereos, de filtros de ecualización, y filtros de ruido.

Este instrumento tiene tres entradas:

-Una designada para mediciones de fonocaptosres dinámicos.

-Una para mediciones de fonocaptosres piezoeléctricos.

-Y una para la prueba de magnetófonos.

Desde las dos entradas para mediciones de fonocaptosres, las señales de estereo son alimentadas a través de un

par de preamplificadores dando las señales, adecuadas amplitudes para un ulterior proceso. Después de la amplificación las señales son alimentadas a los circuitos de ecualización aplicando el requerido "de-énfasis" a la señal.

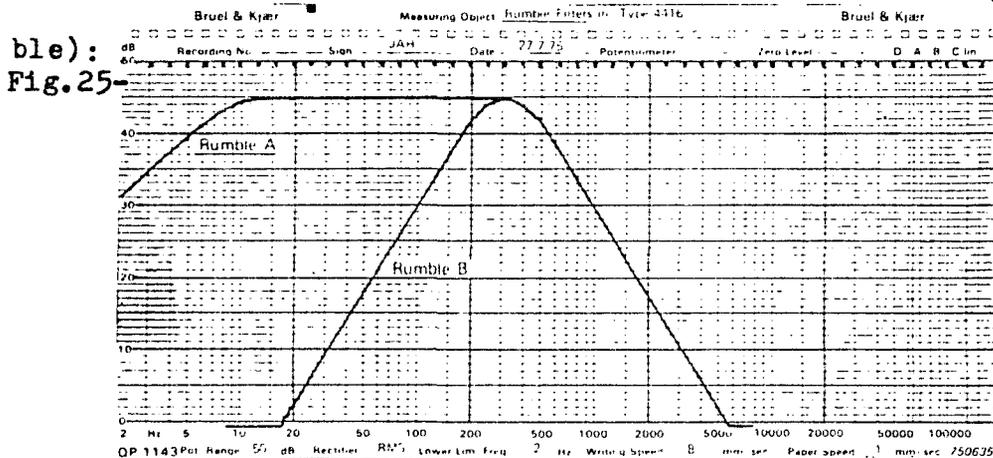
La tercera entrada, para pruebas de magnetofonos, evita estos circuitos de ecualización.

Para propósitos de monitorización, existe una salida después de los circuitos de ecualización.

Después de los circuitos de ecualización, las señales son alimentadas a un sumador y a un troceador (cortador) haciendo available, por medio de un selector, un total de cuatro señales diferentes.

El cortador (chopper) opera en una frecuencia de aproximadamente 1 Hz y es adecuado para un detalladísimo análisis de balance estereo como una función de frecuencia, y permite que el grabado de gráficos sea hecho automáticamente sobre el grabador de nivel. Las otras tres posiciones del selector, posibilitan mediciones sobre los canales derecho e izquierdo separadamente y sobre la señal suma, no necesitaría una explicación posterior.

Después de pasar el sumador y cortador, la señal puede ser aplicada directamente a la salida o puede ser ponderada en uno de los estandarizados filtros de ruido o zumbido (rum-



La ruta directa es usada para respuesta en frecuencia cross-talk, balance, y otras mediciones sobre cápsulas fonocaptoras, mientras las posiciones ponderadas son usadas para mediciones de calidad de tocadiscos.

Para mediciones de distorsión de barrido automático, una salida al Sintonizador de Percusión es avalable por medio de un filtro de ruido.

Este Sintonizador de Percusión hace posible el control de la sintonización del Analizador Heterodino y el Filtro Esclavo Heterodino. Para mediciones de distorsión de intermodulación, una Unidad de Control de Medición de Distorsión puede ser añadida a un dispositivo con el Analizador Heterodino.

El circuito empezar-sincrónicamente es usado para obtener sincronización entre las señales grabadas y el papel calibrado de frecuencia usado con el grabador de nivel. Todas las bandas relevantes sobre los discos de prueba son precedidas por una señal senoidal de 1 KHz. El circuito empezar-sincrónicamente detecta el margen de salida de este tono explosivo y comienza el grabador de nivel cuando el tono cesa.

Cuando las mediciones son hechas sobre magnetofonos, máquinas de dictado, etc., un barrido de frecuencias precedido por un tono de 1KHz puede ser grabado automáticamente por medio de un generador senoidal conducido por un grabador de nivel que empieza con el comenzador-síncrono en esta Unidad de Prueba de Respuesta.

3-. DISCOS DE PRUEBA .-

Un muy obvio camino para probar la actuación de una cápsula fonocaptora es reponer un disco donde un número de diferentes señales con características bien definidas han sido grabadas. La salida eléctrica, puede ser vista como la actuación del fonocaptor bajo las mismas condiciones como son encontradas cuando se reponen discos ordinarios.

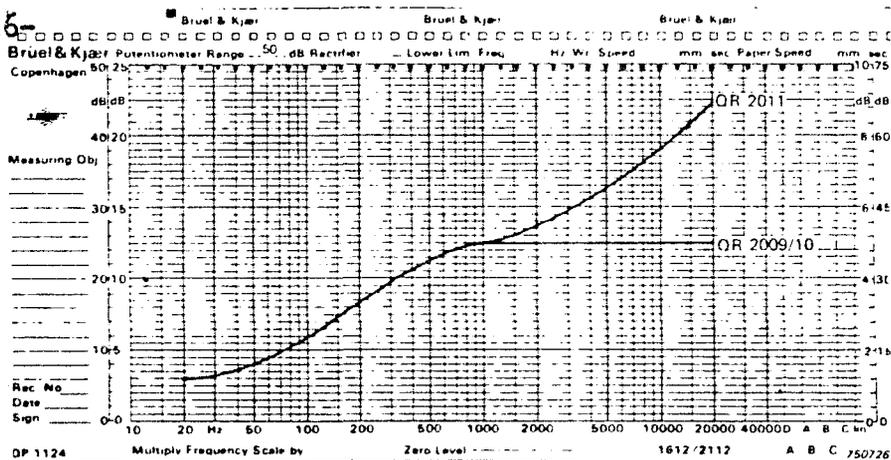
Existen tres discos de prueba (B & K) distintos, con los cuales se pueden realizar, entre otras, medidas de respuesta en frecuencia, de lloro, de tremor, Estos discos son los llamados QR 2009, QR 2010, QR 2011.

Para sincronizar los discos con el registrador de nivel para el trazado automático de la respuesta en frecuencia necesitaremos la Unidad de Prueba de Respuesta. Al principio del barrido del disco existe un tono de 1 KHz, para arrancar al Registrador de Nivel.

Los tres discos se han grabado según las recomendaciones IEC 98. Sin embargo, los QR 2009 y QR 2010 lo han sido con velocidad constante por encima de 1 KHz, para evitar excesivas aceleraciones a las altas frecuencias y un nivel de referencia demasiado bajo. El QR 2011 ha sido grabado con toda la corrección normal RIAA por encima de 1 KHz, y es empleado en aparatos normales de alta fidelidad en locales de escucha típicos. Lo cual puede producir algunos errores de pista en las más altas frecuencias de prueba.

Así, las distintas características de grabación de estos discos de prueba son:

Fig. 26-



-QR 2009.

Este disco de prueba está designado para el control de producción de fonocaptores (mediciones de respuesta en frecuencia, diafonía y balance).

Contiene cuatro barridos desde 20 Hz a 20 KHz cada uno con un particular tipo de modulación. Esta secuencia de señal está repetida dos veces en cada lado del disco.

Si una prueba de fonocaptores es empezada por la banda número 1, el fonocaptor automáticamente prosigue a través de las bandas 2, 3 y 4, y entonces para. El Grabador también se para, y es preparado para recibir la nueva sincronización "burst" cuando llegue desde el fonocaptor.

Si es deseado grabar la respuesta a más de un tipo de modulación en la misma pieza del papel de gráfico rebobinaremos después de que el Grabador haya parado y situando el fonocaptor en el comienzo de la banda deseada.

La duración del barrido en todas las bandas es 50sg.

Las características de grabación además de todos los

otros datos están en concordancia con IEC R 98 y R 98-1, excepto para velocidad constante por encima de 1KHz.

La velocidad de grabación a 1KHZ es de 2.24 cm/s r.m.s. en modulación de 45° (3.16cm/s en modulación lateral y vertical).

El contenido de este disco de prueba es:

Fig.27-



- QR 2010 .

Este disco de prueba está designado para realizar mediciones de laboratorio sobre unidades de fonocaptores y para detallar investigaciones sobre muestras de producción (medidas de respuesta en frecuencia, diafonía, tremoleo, tremor, resonancias del brazo, etc.).

Los dos lados del disco son idénticos. Las bandas 8 11 y 15 son designadas para ejecutar varias mediciones en

tocadiscos mientras el resto son para mediciones de fonocaptadores.

Las bandas 3 a 7 incluidas, están designadas para determinar la máxima velocidad que la aguja del fonocaptor puede dar por medio de una señal grabada. Si la aguja no puede seguir el surco, existirá una gran área de distorsión y en casos extremos la aguja saltará el surco.

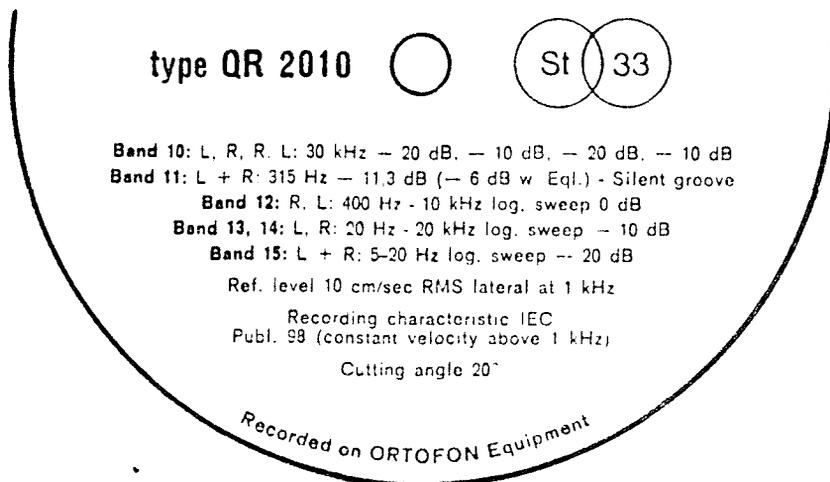
La banda 9 está para polarizar la muestra de la carga al fonocaptor después del primer muestreo habido, que la señal L tiene lugar (ocurre) cuando el botón L es presionado y viceversa. Si la polaridad es correcta, la señal en la salida L+R de la Unidad de Prueba de Respuesta desaparecerá cuando el fonocaptor pase la señal L-R. Si son reservadas ocurrirá lo contrario.

Las bandas 10 y 12 están pensadas para mediciones de cross-talk, cuando sólo es avalable un voltímetro. Una señal de calibración es aplicada al canal que es conectado al voltímetro. Entonces la señal medida ocurre en el otro canal. Las dos señales tienen una diferencia en nivel que, en muchos casos, hace innecesario cambiar la posición del atenuador del voltímetro.

El contenido de este disco de prueba será:

Fig.28-





-QR 2011.

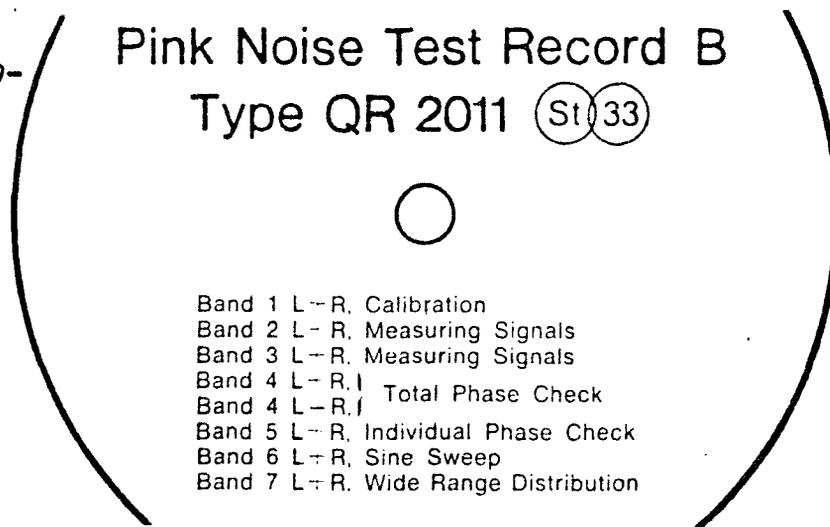
Este disco de prueba está designado para experimentar un completo sistema de reproducción de audio en locales de escucha típicos.

La señal consta de una escala-rosa, ruido aleatorio alimentado a través de un filtro de tercio de octava que es puesto a través de todo el rango de frecuencias de audio. La medición toma lugar desde la posición oída favorita del oyente, donde un Sonómetro es situado.

Sobre el papel calibrado de frecuencia, suministrado con estos discos, el total sistema de respuesta es dibujado, según las lecturas que salgan del Sonómetro.

El contenido de este disco de prueba es el siguiente:

Fig. 29-



4.- UNIDAD DE CONTROL DE MEDICION DE DISTORSION.-

La Unidad de Control de Medición es un instrumento de signado para controlar automáticamente el Analizador Heterodino, que suministra mediciones de barrido de distorsión no-lineal en amplificadores, altavoces, magnetófonos, micrófonos, hidrófonos, etc..

Las mediciones de distorsión barridas, introducidas por la combinación Unidad de Medición/Analizador Heterodino, dan más información y son más fáciles de realizar que el método normalmente usado de distorsión medidas a varias frecuencias sencillas, un método que es muy cansado y da resultados que no son verdaderamente representativos.

Este conjunto Unidad/Analizador mide distorsión armónica, distorsión de diferencia de frecuencia y distorsión de intermodulación.

La Unidad de Control de Medición de Distorsión consta de un generador de dos tonos y un sintetizador de frecuencia.

-Generador de dos tonos.-

El Generador consta a su vez de un VCO (oscilador controlado por voltaje), dos moduladores, un amplificador de salida, y un atenuador.

En el modo "armónico", la frecuencia fija de 1'2MHz y la frecuencia variable de 1 a 1'2MHz, es alimentada desde el Analizador a uno de los moduladores, mezclada y entonces filtra

da en un filtro de paso bajo de 250 KHz. La señal resultante (f_2) tendrá la misma frecuencia que la señal BFO del Analizador. Esta frecuencia es indicada en el display del contador de frecuencia del Analizador. Desde el modulador la señal es alimentada, por medio del interruptor "Generator Stop", al amplificador de salida.

La señal (f_2) es usada en todos los modos de la Unidad de Control de Medición, y en los modos de "diferencia de frecuencia" y de "intermodulación" donde dos tonos de prueba son generadas, será siempre la frecuencia más alta de los dos tonos.

En el modo "diferencia de frecuencia" un segundo tono que sigue la frecuencia de f_2 en una diferencia de frecuencia por debajo de f_2 , es añadido. La diferencia de frecuencia (f_0) se fija por medio del potenciómetro de control de frecuencia, que controla un VCO operando a 1'2MHz.

Esta frecuencia es mezclada con la Frecuencia Variable desde el Analizador ($1'2\text{MHz} - f_2$) en un modulador y es filtrada en un filtro paso bajo de 250KHz dejando la componente de frecuencia deseada $f_1 = f_2 - f_0$. f_0 es ajustable en el rango de frecuencia desde 20Hz a 2KHz. Las dos señales f_1 y f_2 son entonces sumadas en el amplificador de salida para tener igual amplitud y un voltaje de salida cuyo valor RMS es el mismo que del tono simple (f_2) en el modo "armónico".

En el modo de "intermodulación" un tono de frecuencia fija baja (f_1) es usado en adición al tono de barrido (f_2). La frecuencia de este tono (f_1) puede ser fijada en el ran-

go de frecuencia de 20Hz a 2KHz por medio del potenciómetro de control de frecuencia. Este tono (f_1) es obtenido por mezcla de $1.2\text{MHz} + f_0$ desde el VCO con la Frecuencia Fija de 1.2MHz en un modulador y filtrándose en un filtro paso bajo de 250KHz dejando $f_0 (=f_1)$.

f_1 y f_2 son sumadas a un amplificador de salida, así que la amplitud de f_1 es 4 veces la amplitud de f_2 (12dB más alta).

La señal de prueba que obtenemos en la salida puede ser variada continuamente desde 0 a 10v. usando el potenciómetro de voltaje de salida, o en unidades de 10dB desde 100 μ v a 10v usando el atenuador. La impedancia de salida es de 600 Ω , dependiendo de la fijación del atenuador. Existe un potenciómetro que podemos ajustar, variando así la amplitud de f_2 . Existen dos interruptores (generator stop), que apagan una o ambas de las frecuencias de prueba cuando ajustemos el objeto de ensayo.

-Sintetizador de frecuencia.-

Este sintetizador genera la señal de control necesaria para sintonizar la sección analizadora del Analizador Heterodino a alguna componente de distorsión deseada hasta 5° orden en el rango de frecuencias de 2Hz a 200KHz.

Este constará de dos PLL (phase-locked loops). Las frecuencias de entrada son la Frecuencia Fija (1.2MHz) y la Frecuencia Variable (1.2 a 1MHz) desde el Analizador Heterodino.

En el modo "armónico", la entrada del primer PLL es

la frecuencia fija de 1'2MHz. La señal de referencia para el lazo(loop), que es 60KHz, es derivada desde la frecuencia fija de 1'2MHz en el Convertidor de frecuencia fijada. La señal de referencia es multiplicada por el número de orden "n" de distorsión que es seleccionado con el interruptor de orden de distorsión. Así la salida del PLL es $1'2\text{MHz} + n \cdot 60\text{KHz}$. Esta señal es alimentada al segundo PLL donde el componente de 60KHz es sustituido por f_2 , porque la frecuencia de referencia en este lazo es de $60\text{KHz} + f_2$. Esto da una frecuencia de salida de $1'2\text{MHz} - n f_2$, que es la señal requerida para sintonizar la sección analizadora del Analizador Heterodino hacia el armónico n^{th} de f_2 .

El uso de la frecuencia de referencia de 60KHz en los PLL tiene dos ventajas:

- Permite una división de frecuencia simple para ser utilizado para la selección del número (n) de orden de distorsión.

- Da una respuesta rápida permitiendo que el Analizador rastree más rápidamente que si estos PLL operaban directamente sobre la señal de baja frecuencia.

En el orden par del modo de "diferencia de frecuencia" ($n=2$ y 4), la operación del primer PLL es idéntica a la operación en el modo "armónico", dando así una frecuencia de salida de $1'2\text{MHz} + n \cdot 60\text{KHz}$. De cualquier manera, el 2º PLL ahora usa una señal de referencia, que es $60\text{KHz} + f_0$, donde f_0 es la diferencia de frecuencia que se fija con el potenciómetro de control de frecuencia.

El PLL de esa forma sustituye la componente 60KHz con f_0 , dando una frecuencia de salida de $1'2\text{MHz} - n f_0$.

En el orden impar del modo de "diferencia de frecuencia ($n=1,3$ y 5), la entrada al primer PLL es $1'2\text{MHz} - f_0$, que significa que la señal de salida es $1'2\text{MHz} - f_2 + n \cdot 60\text{KHz}$. Otra vez, el segundo PLL sustituye el componente de 60KHz con f_0 . Ahora, dependiendo de si la señal de referencia es $60\text{KHz} + f_0$ o $60\text{KHz} - f_0$, la componente de orden de distorsión "+" o "-" será seleccionada.

La señal resultante de control analizador será $1'2\text{MHz} - f_2 + n f_0$. La señal de referencia es elegida con un interruptor "+" y "-".

En este modo, los divisores de frecuencia en los PLL no dividen por el actual número de orden de distorsión. Por ejemplo, para el componente "3+" n debe ser 1; para el "5+" debe ser 2, al igual que para el "3-"; y para el componente "5-" el divisor debe dividir por 3.

La operación del sintetizador de frecuencia en el modo de "intermodulación" es virtualmente idéntica a la operación en el orden impar del modo de "diferencia de frecuencia"; la única diferencia es que en el modo de "intermodulación" el divisor de frecuencia divide por el actual número de orden de distorsión ($n-1$).

5-. ANALIZADOR HETERODINO .-

El Analizador Heterodino es un analizador de banda de frecuencia estrecha de ancho de banda constante que cubre el rango de frecuencias desde 2Hz a 200KHz en tres rangos ,logarítmico y lineal, con ancho de banda seleccionable desde $3 \cdot 16$ a 1KHz.

La sección de entrada tiene una entrada directa y una entrada de micrófono conteniendo las conexiones necesarias de potencia para preamplificadores de micrófono y micrófonos de condensador. Mediante el atenuador de entrada, teniendo un rango de hasta 90 dB de atenuación, la señal es alimentada al amplificador de entrada donde es amplificada 40dB.

Desde el amplificador de entrada la señal es alimentada a la salida por un filtro externo, al circuito selector, y al primer mezclador. Un indicador de sobrecarga es conectado al amplificador.

Del primer mezclador la señal es alimentada al filtro de paso banda de $1 \cdot 2$ MHz. En este mezclador se mezcla la señal del amplificador y la señal del VCO. Luego esta señal pasa a un segundo mezclador, donde la frecuencia es transformada a 30KHz, por mezcla con la señal de $1 \cdot 23$ MHz. Esta señal de 30KHz es alimentada al filtro paso banda de 30KHz, donde son obtenidos unos anchos de banda de 1KHz y $3 \cdot 16$ Hz. Más adelante la señal es alimentada o bien al circuito selector, o bien si son deseadas los anchos de banda más estrechos, al tercer mezclador. La frecuencia de la señal es transformada a 750Hz para mezclarse con una señal de $30 \cdot 75$ KHz. La señal de

750Hz es alimentada al filtro de paso de banda donde son obtenidos los anchos de banda en el rango de 1KHz a 3'16Hz.

Desde el filtro de 750 Hz la señal es alimentada a la sección de salida por medio de un circuito selector para los sistemas de ponderación A,B,C,y D,y los circuitos de compensación de ancho de banda.El primero para mediciones de sonido,y el segundo para mediciones de densidad espectral de potencia.

Esta sección de filtro termina en un amplificador de salida con una ganancia de 80dB,y en un atenuador con un rango de 60dB.La sobrecarga es indicada por el indicador de sobrecarga.

Desde el amplificador de salida la señal es alimentada al rectificador RMS.Este rectificador tiene una linealidad con +0'5dB para señales con factor de cresta hasta 5.El rango dinámico es de 50dB y el tiempo promedio seleccionable de características del rectificador en el rango de 0'1 a 100 sg.

Poteriormente es alimentada a un medidor,el cual puede ser conecionado entre la salida del analizador y el BFO. Conectado al BFO el medior indicará la fuerza electromotriz de la señal de salida en el modo atenuador(600Ω) y el actual voltaje en la salida cuando el BFO está en el modo de salida directa(5Ω).

Por otra parte,un convertidor lineal-logarítmico puede ser conmutado en circuito para dar el medidor una respuesta logarítmica en adición a la lineal.

El Analizador está provisto para la conexión de un

registrador. La señal de salida puede estar tomada de la señal AC junto al amplificador de salida, o desde el rectificador dando una lineal o señal DC logarítmica.

Existe un circuito selector de programa para mediciones de densidad espectral de potencia. Este permite que un número de programas sean elegidos en los cuales el ancho de banda B del Analizador y el tiempo promedio T del rectificador sean automáticamente cambiados con la frecuencia sintonizada. Estos programas pueden ser controlados remotamente.

Las diferentes combinaciones entre B y T pueden ser:

-T constante y B variable.

Fig. 30

Position of bandwidth selector	Automatically selected bandwidth in Hz						
1000 Hz	3,16	10	31,6	100	316	1000	
316 Hz	3,16	3,16	10	31,6	100	316	
100 Hz	3,16	3,16	3,16	10	31,6	100	
31,6 Hz	3,16	3,16	3,16	3,16	10	31,6	
10 Hz	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	10	
3,16 Hz	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	
Switch-over Frequency Hz (x1, log scale)	63	200	630	2k	6,3k		

Quando T es constante, el valor puede ser seleccionado en el rango 0,1sg a 100sg. El ancho de banda variará con la fijación con la fijación de un botón de frecuencia sintonizada sobre la escala de frecuencias de acuerdo a la tabla.

-T variable y B constante.

Fig. 31

Position of time constant selector	Automatically selected averaging time (s)						
0,1 s	30	10	3	1	0,3	0,1	
0,3 s	100	30	10	3	1	0,3	
1 s	100	100	30	10	3	1	
3 s	100	100	100	30	10	3	
10 s	100	100	100	100	30	10	
30 s	100	100	100	100	100	30	
100 s	100	100	100	100	100	100	
Switch-over Frequency Hz (x1, log scale)	63	200	630	2k	6,3k		

B es constante en el valor seleccionado con un botón "control de selectividad" en el rango de 3'16 a 1KHz. El tiempo promedio variará con la frecuencia sintonizada de acuerdo a la tabla.

Position of B variable y T variable. Fig.32-

Position of bandwidth selector	Automatically selected bandwidth in Hz			
1000 Hz	31,6	100	316	1000
316 Hz	10	31,6	100	316
100 Hz	3,16	10	31,6	100
31,6 Hz	3,16	3,16	10	31,6
10 Hz	3,16	3,16	3,16	10
3,16 Hz	3,16	3,16	3,16	3,16
Position of averaging time selector	Automatically selected averaging time in s			
0,1 s	3	1	0,3	0,1
0,3 s	10	3	1	0,3
1 s	30	10	3	1
3 s	100	30	10	3
10 s	100	100	30	10
30 s	100	100	100	30
100 s	100	100	100	100
Switch-over frequency Hz (x1, log scale)	63		630	6,3k

B y T pueden ser seleccionados de tal manera que el producto B·T se mantiene constante de acuerdo a la tabla.

-B y T pueden ser seleccionados así que el producto B·T se mantiene constante de acuerdo a la tabla. Diferentes frecuencias han sido elegidas para compararlas con la posición anterior.

Fig.33-

Position of bandwidth selector	Automatically selected bandwidth in Hz		
1000 Hz	100	316	1000
316 Hz	31,6	100	316
100 Hz	10	31,6	100
31,6 Hz	3,16	10	31,6
10 Hz	3,16	3,16	10
3,16 Hz	3,16	3,16	3,16
Position of time constant selector	Automatically selected averaging time in s		
0,1 s	1	0,3	0,1
0,3 s	3	1	0,3
1 s	10	3	1
3 s	30	10	3
10 s	100	30	10
30 s	100	100	30
100 s	100	100	100
Switch-over frequency Hz (x1, log scale)	200		2k

-B y T son constantes.

Los valores son aquellos elegidos por las fijaciones de los botones correspondientes.

La sección de señal interna suministra las señales necesarias que son necesitadas para los distintos circuitos del instrumento. Esta sección está basada en un oscilador resonante paralelo de cristal que genera una señal de 960KHz. Esta señal se convierte en:

-una señal de 1'23MHz para el segundo mezclador y el VCO.

-una de 120KHz para un contador de frecuencia.

-1'2MHz para el BFO.

-1'08MHz para el convertidor de frecuencia del VCO.

-30'75 para el tercer mezclador.

-12KHz para el contador de frecuencia.

El VCO suministra la señal de frecuencia variable para el primer mezclador y para el BFO. Esta señal que llega al BFO es mezclada con una señal de 1'2MHz para dar una señal de salida senoidal con una frecuencia que corresponde a la frecuencia sintonizada del analizador. El nivel de esta señal puede ser controlado automáticamente por medio del circuito compresor con velocidades de compresión variables.

El control del voltaje DC es suministrado desde un potenciómetro o desde una fuente externa por el control remoto del barrido de frecuencias. La señal DC es también alimen

tada directamente al circuito oscilador dando un barrido lineal o por medio de un convertidor logarítmico-lineal resultando en un barrido logarítmico. Cuando una variación de voltaje de control DC es aplicado allí habrá un retraso en el cambio de frecuencia de la señal de salida correspondiendo a 1'5msg. Si, por ejemplo, la regulación del voltaje cambia en una proporción correspondiente a 100Hz/sg, la frecuencia de la señal será $1'5 \times 10^{-3} \times 100 = 0'15 \text{ Hz}$ "por detrás".

La frecuencia de salida del VCO puede ser controlada por un circuito AFC que puede ser utilizado para operar en conexión con anchos de banda estrechos del analizador.

En orden a cubrir el necesario rango de frecuencias, la señal de salida desde el VCO, que cubre el rango desde 1'2MHz a 1'0 MHz, es alimentado a 2 convertidores. El primer convertidor tiene un rango de 1'2MHz a 1'18MHz, y el segundo tiene un rango de 1'2MHz a 1'198MHz.

Un circuito contador mide la frecuencia de la señal generada por el VCO y lo expone en un display. El tiempo del contador es seleccionado mediante un selector de tres posiciones.

El Analizador está equipado con un circuito detector de fase AFC controlando el VCO y de ahí la sintonización del instrumento. El circuito es activo en los 4 anchos de banda inferiores (3'16 a 100Hz).

6-. GRABADOR DE NIVEL .-

El Grabador de nivel es básicamente un voltímetro de grabación proyectado para grabar exactamente el RMS, Promedio, o nivel de pico de una señal AC en el rango de frecuencias desde 2Hz a 200KHz al igual que señales DC.

Grabaciones como una función de tiempo o frecuencia se pueden hacer sobre una preimpresora lineada o sobre un papel gráfico graduado de frecuencia, de 50 o 100mm de ancho. Grabaciones direccionales se pueden hacer sobre papel poñar de 200mm de diámetro.

Se puede obtener una sincronización entre el movimiento del papel calibrado de frecuencia el Grabador y la frecuencia explorada de otros instrumentos como generadores o analizadores.

El rango dinámico de este grabador es determinado por cuantos potenciómetros son insertados. Hay seis de estos disponibles, 2 lineales y 4 logarítmicos, con rangos dinámicos de 10, 25, 50 y 75 dB.

Un motor de sincronización reversible con unos tiempos de parada y de comienzo muy cortos es el principal motor en el sistema de conducción de papel.

El movimiento de papel en ambas direcciones puede ser controlado por un voltaje DC externo., lo cual posibilita al grabador para ser usado como un Grabador X-Y. La velocidad de gráfico máxima para grabaciones X-Y es de 30mm/sg.

Un mecanismo de alzado de la pluma posibilita la pluma para ser levantada desde el papel cuando quiera que sea deseado. La elevación de esta puede ser controlada manualmente o remotamente.

El Grabador está equipado con un Marcador Eventual cuyas marcaciones en el borde del gráfico pueden representar frecuencia, tiempo, etc..

Existen tres salidas mecánicas de este Grabador, que son una salida de eje de rueda de papel y dos salidas de eje de conducción. Los dos ejes de conducción son usados para conducir la exploración de frecuencia de los generadores y analizadores en sincronismo con el movimiento del papel calibrado de frecuencia en el Grabador.

Varias funciones de este Grabador de Nivel pueden ser controladas remotamente, y el grabador a-sí mismo puede ser usado para controlar externamente instrumentos conectados.

Como veremos en el diagrama de bloques de este Grabador, éste opera como un puente de balance nulo automáticamente, eléctricamente hablando.

La señal de entrada es aplicada al potenciómetro de rango intercambiable por medio de un potenciómetro de entrada variable continua y un atenuador de entrada calibrado.

El "wiper" en el potenciómetro de rango está enlazado con la pluma de conducción. La señal en el "wiper" está amplificada, detectada y entonces comparada con un voltaje interno de referencia. Si la señal detectada difiere de la

la de referencia, resulta una diferencia de voltaje. Esto es amplificado y alimentado a la conducción de bobina del sistema de conducción magnético.

La corriente fluye en la bobina de conducción que lo fuerza a mover a través del "wiper" del potenciómetro y el mecanismo de escritura. La dirección de movimiento depende de la polaridad de la diferencia de voltaje y el "wiper" mueve a ese contacto que produce una diferencia de voltaje cero.

El sistema mantiene un nivel de señal constante en el detector, que puede así operar con su mayor región lineal, sin hacer caso del rango dinámico de la entrada al grabador.

Una segunda bobina en el sistema de conducción genera una señal que depende de la velocidad que es realimentada al circuito amplificador de bobina de conducción. La fuerza de la señal realimentada controla la velocidad con que el sistema de conducción reacciona a un cambio en el nivel de señal de entrada. La fijación de la velocidad de escritura proporciona este control.

La señal de entrada del Grabador puede ser atenuada continuamente sobre un rango de aproximadamente 12 dB por el potenciómetro de entrada. El atenuador de entrada atenúa la señal en exactamente seis unidades de 10 dB.

Con estos dos controles la posición de la pluma puede ser ajustada para obtener la calibración de línea de referencia deseada. Un voltaje de referencia de 100mV que opera con botón de empuje es provisto para una fácil calibración.

La resolución del Grabador es el grado por el cual es capaz de grabar los detalles en la vibración del nivel.

El sistema de escritura proporciona una fuerza de conducción de 9Nw, pero el poder de resolución depende del voltaje entre contactos del potenciómetro de rango. El poder de resolución es ajustable por el atenuador del rango del potenciómetro que controla la diferencia de señal aplicada a la bobina de conducción.

El tiempo promedio es requerido para la medición de señales variables. El tiempo promedio está determinado por la fijación del control de la velocidad de escritura.

Este interruptor selecciona la cantidad de realimentación negativa desde la bobina de velocidad a la entrada de la sección del amplificador de salida.

El control de la frecuencia límite más baja determina la frecuencia menor a la cual el grabador responde correctamente. El límite de la frecuencia de limitación más baja puede ser ajustable entre 2, 10, 20, 50, o 200Hz.

Las velocidades de escritura pueden ser seleccionadas desde 2 a 2000mm/sg, dando tiempos promedios efectivos, desde el orden de segundos hasta llegar a aproximadamente 10msg.

Una lámpara de advertencia indica cuando una combinación inestable, de frecuencia límite más baja y velocidad de escritura, ha sido seleccionada.

El Grabador de Nivel registrará los promedios aritméticos absolutos, la raíz cuadrada principal (RMS) o el valor medio instantáneo de pico a pico de alguna forma de onda

desde 2 Hz a 200 KHz.

El valor RMS grabado es exactamente de ± 0.5 dB para señales con factor de cresta hasta diez. (Factor de Cresta $= \frac{\text{Pico}}{\text{RMS}}$). La distorsión de fase no afectará la exactitud RMS.

En el modo de grabación DC un contador electrónico de 1 KHz es introducido delante del rectificador de promedio. La detección promedio ha sido elegida para reducir la influencia de ruidos extraños.

En este modo el sistema de escritura puede seguir, con deflexión de escala completa, una entrada senoidal de hasta 6.4 Hz.

7-. FILTRO ESCLAVO HETERODINO .-

El Filtro Esclavo Heterodino es un filtro de ancho de banda constante, de banda estrecha, y variable, que es usado en un gran número de mediciones.

Como veremos en su respectivo diagrama de bloque la sincronización con un instrumento sintonizado es obtenida usando dos señales de alta frecuencia. Las señales de alta frecuencia son una señal de 120 KHz y una señal variable de 200 a 240 KHz.

Por medio de un flip-flop de 100 a 120KHz la diferencia entre las frecuencias fijas y variables dan la componente de frecuencia baja de 10Hz a 20KHz.

La señal de entrada del Filtro Esclavo Heterodino es mezclada con la señal de alta frecuencia variable del instrumento sintonizado y pasado a través de un amplificador de carga de separación.

Las dos señales son mezcladas por DC usando dos señales de 120KHz, 90° fuera de fase, y entonces transmitida a los filtros de paso bajo. Después de filtrado, las señales son cortadas (chopped) con las mismas dos señales de 120KHz, 90° fuera de fase, y sumadas. La señal resultante de 120KHz es mezclada con la señal variable de 100 a 120KHz para volver de nuevo a su frecuencia de entrada inicial.

El Filtro Esclavo Heterodino tiene ganancia unidad en la banda de paso y opera con entrada nominal de 1V.RMS.

Un Filtro paso bajo de 30KHz en la entrada provee los límites de banda para evitar la distorsión de intermodulación de frecuencia.

Los filtros principales usados en la sección heterodina del Filtro Esclavo son filtros de paso bajo de Butterworth con frecuencias de corte de 3dB de 1'58;5;15'8;y 50Hz correspondiendo a anchos de banda de análisis de 3'16;10;31'6;y 100Hz.

El rango dinámico del filtro es mayor de 70dB. El ancho de banda efectivo es 1'025 veces el área de la característica banda de paso rectangular de un filtro ideal.

La operación paralela de todas las entradas de filtro provee cambios de ancho de banda sin transitorios.

La selección del ancho de banda de filtro puede hacerse manualmente o por control remoto, donde el filtro de ancho de banda de 3'16 está en circuito y la selección de los otros tres anchos de banda es hecha por medio de un enchufe de control de ancho de banda remoto.

Este Filtro Esclavo tiene tres salidas:

-Una salida de frecuencia baja dando una señal idéntica al fundamental de la señal de entrada en la frecuencia sintonizada.

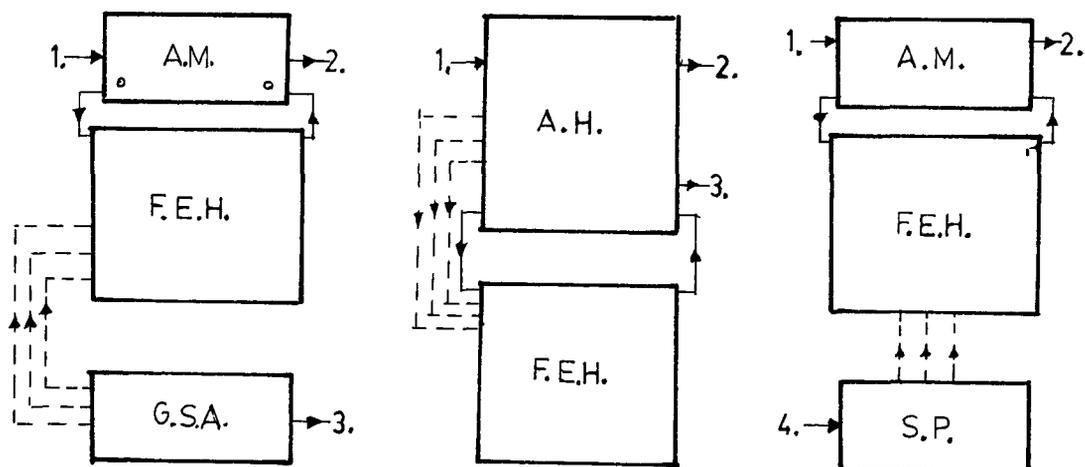
-Una salida de rechazo, dando todos los componentes de la señal de entrada excepto el fundamental.

-Una salida de 120KHz, dando una señal de 120KHz con información de fase y amplitud del fundamental de la señal de entrada. La fase puede ser desviada 90° por un interruptor.

Como dijimos al principio este era un instrumento que se podía combinar fácilmente con muchos otros instrumentos, entre los cuales se pueden encontrar el Generador Sencoidal, el Analizador Heterodino, o el Sintonizador de Percusión, y el Amplificador de Medida.

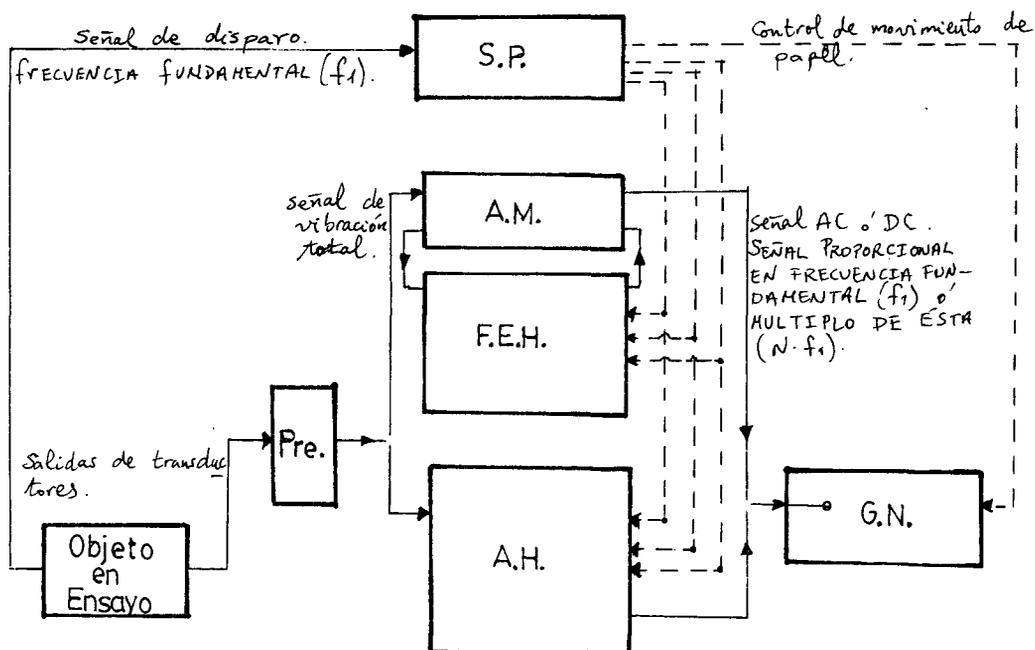
- 1.-Entrada , señal para ser analizada.
- 2.-Señal de salida analizada,hacia el Grabador de Nivel.
- 3.-Señal de salida de Generador,para excitar al objeto bajo prueba.
- 4.-Señal de disparo.

Fig.34-



8 -. SINTONIZADOR DE PERCUSION .-

Este instrumento suministra al Filtro Esclavo Heterodino y al Analizador Heterodino, así que ellos automáticamente rastrean el fundamental o algún armónico de algún tipo de forma de onda periodica en el rango de frecuencias de 5Hz a 200 KHz. Con respecto a estos dos aparatos las combinaciones que se pueden hacer son: Fig.35-



El circuito de entrada de regulado AGC incluye un disparador de nivel ajustable con histeresis.

Ello acepta alguna forma de onda, y el nivel de señal puede variar sobre un rango de 80dB desde 3mV a 300VRMS. El medidor del nivel de entrada muestra si el nivel de señal está con límites.

El circuito de entrada convierte la señal disparada

en una frecuencia de referencia, que es alimentada al lazo de fase cerrada operando en el modo heterodino (batiendo entre una alta frecuencia fija y una variable). Estas señales de alta frecuencia son usadas para sintonizar el Filtro Esclavo y el Analizador en sincronismo con la señal de entrada de baja frecuencia del Sintonizador de Percusión.

El medidor de bloqueo de fase indica si el correcto bloqueo de fase ha tenido lugar.

El lazo puede ser de fase cerrada en múltiplos de la frecuencia de entrada. Esto significa que el instrumento de medida conectado puede analizar subarmónicos y armónicos de la frecuencia fundamental.

Usando el Filtro Esclavo, el factor de multiplicación es seleccionable entre 0'1 y 99'9 en unidades de 0'1.

El factor N de multiplicación es seleccionado con un interruptor (de rueda de pulgar).

Con un divisor de frecuencia externa conectado, la frecuencia fundamental puede ser multiplicada por una fracción. Es también posible, N veces frecuencias principales de disparo.

La frecuencia a DC y los convertidores lineal y logarítmico son incluidos. Ellos suministran al medidor de frecuencia logarítmica y a la salida DC señales, que pueden ser cambiados para ser también lineal o logarítmica.

El medidor y la salida DC pueden seguir también la frecuencia de entrada (f_1) o N veces f_1 . La señal de salida DC es muy adecuada para conducir un Grabador de Nivel.

9 -. GENERADOR SENOIDAL .-

El Generador Senoidal es un oscilador de batido de frecuencia que opera sobre el principio heterodino usando dos osciladores de alta frecuencia. Uno de estos genera una frecuencia fija, mientras que la frecuencia del otro puede ser variada continuamente.

Las dos señales son mezcladas en un modulador y la diferencia de frecuencia es filtrada a través de un filtro paso bajo por lo que se obtiene una señal senoidal de frecuencia baja variable.

Las ventajas de este principio comparado con los generadores RC y de función, son su alta frecuencia, amplitud, y estabilidad, y su posibilidad de barrer continuamente sobre un ancho rango de frecuencias (10Hz-20KHz).

Las partes más importantes de este Generador son:

-Oscilador de Alta Frecuencia.

Las diferentes frecuencias usadas en distintas partes del instrumento son derivadas del oscilador de frecuencia fija por medio de los convertidores de frecuencia. Una de esas señales, 120KHz, es alimentada a través del amplificador compresor de regulación a un modulador y filtro paso bajo donde es mezclada con la señal del oscilador controlado por voltaje (VCO).

La frecuencia del VCO es controlada por un voltaje DC, el cual es suministrado o bien de un potenciómetro de bajo

ruido y alta precisión conectado al eje del dial de escala de frecuencia, o bien de una fuente externa por control remoto.

El voltaje DC es usado para realizar un barrido lineal mientras se obtiene un barrido logarítmico por transformación de la rampa de voltaje lineal, dentro de una característica logarítmica en el convertidor Lineal/Logarítmico.

-Modulación de frecuencia. El Generador Senoidal se asemeja a un oscilador de diente de sierra para modulación de frecuencia de la señal de salida.

Las frecuencias de modulación interna de 1; 2'5; 6'3; y 16Hz, tienen una oscilación del $\pm 10\%$ de la frecuencia central hasta 2'5KHz, encima de la cual la desviación de frecuencia es una constante de ± 250 KHz.

Una modulación externa o una compensación de frecuencia fija es realizada por conexión de un apropiado voltaje DC al instrumento.

-Control de Barrido.

El barrido se puede controlar manualmente (mecánicamente) o eléctricamente. Esto permite la fácil sincronización con un Grabador de Nivel. El barrido puede ser lineal o logarítmico entre 10Hz y 20KHz.

El barrido logarítmico se usa para mediciones de respuesta en frecuencia y en conexión con los filtros de ancho de banda de proporción constante.

Un barrido lineal es preferido para mediciones de respuesta en fase de altavoces. Es también usado junto con fil-

tros de ancho ancho de banda constante.

-Ajuste de rango de frecuencia.

Si se desea, el rango de frecuencias puede hacerse más estrecho por medio de un circuito comparador de frecuencia.

-Display de frecuencia Digital.

Un circuito contador mide la frecuencia de la señal VCO, y el display de frecuencia de 5 dígitos es calibrado para leer la frecuencia de salida del generador.

El tiempo de cuenta es seleccionable para ser:

• 0'1 sg, que da diez lecturas de frecuencias por segundo con una resolución de 1 Hz.

• 1 sg, que da una lectura por segundo con una resolución de 0'1 Hz hasta alrededor de 9KHz.

Encima de estas frecuencias el tiempo de cuenta automáticamente toma el valor de 0'1 sg para prevenir sobrecargas.

Existe una salida especial desde el contador para controlar el Marcador Eventual en un Grabador de nivel conectado.

-Señal de referencia.

Un interruptor con posiciones "ON", "OFF", y "ON" con restablecimiento propio, puede suministrar una frecuencia aproximada de 1KHz independiente de la fijación de la frecuencia del Generador.

Esto es útil cuando se hacen grabaciones automáticas si la deflección del lápiz del Grabador de Nivel está sobre la escala en las frecuencias medias donde son frecuentemente

encontradas las más altas amplitudes. También puede ser usado para fáciles grabaciones de la señal de referencia precediendo grabaciones de frecuencia para ser usadas en conjunción con la Unidad de Prueba de Respuesta.

-Generador ON/OFF.

La salida del generador puede ser cesada con un interruptor que tiene las posiciones "OFF", "ON", y "OFF" con restablecimiento propio. Ello suprime la señal de salida más de 70dB (60dB en 2msg), y es muy útil para mediciones de tiempo de reverberación.

-Sección Compresora.

El propio circuito compresor proporciona una regulación automática del nivel de salida sobre un rango dinámico de más de 60dB.

Hay cinco velocidades de compresor: 10, 30, 100, 300, y 1000dB/sg; y la cantidad de compresión es continuamente ajustable.

-Sección de Salida.

La señal del amplificador de salida es avalable en dos diferentes terminales de salida, salida de atenuador, y salida de carga.

Desde el terminal de salida de atenuador son avalables los voltajes entre 100µV y 10V RMS., para una extensa deflexión de medidor.

La señal de salida puede ser atenuada hasta 100dB en exactas unidades de 10dB, y el nivel es continuamente variado con cada unidad. Todas las posiciones del atenuador

tienen una impedancia de 50Ω .

El terminal de salida de carga es una salida directa del amplificador. Tiene una impedancia de salida de menos de 0.2Ω , y el nivel de salida es continuamente variable entre 0 y 10vRMS .

Con la salida de atenuador en posición Carga(load), esta salida puede suministrar una corriente máxima de 700mA RMS , lo cual significa 7W en una impedancia de carga de 14.3Ω .

En las otras posiciones de atenuador la salida de carga es también available, pero la corriente máxima será $\approx 50\text{mA}$.

-Sección Medidora.

El circuito medidor usa un detector de promedio calibrado para leer el valor RMS. Este medidor está equipado con un tipo de escala que previene errores de paralaje. Ello indica el voltaje de salida cargado del Generador en todas las posiciones de 50Ω del atenuador de salida. Lo cual es llamado fuerza electromotriz. En la posición Carga, 10v RMS corresponden para la deflección completa de escala, y la influencia de carga puede ser vista sobre el medidor.

10-. GENERADOR SENOIDAL DE AZAR .-

El Generador senoidal aleatorio es una fuente de señal de baja distorsión, alta estabilidad, y gran exactitud.

Las formas de onda de salida que puede generar este instrumento son:

-Senoidal. Usado para mediciones de respuesta en frecuencia y de fase, y para investigaciones de frecuencia.

-Ruido Aleatorio de Banda Estrecha. Utilizado para mediciones de respuesta directa para evitar la construcción de ondas estacionarias, así como para mediciones sobre altavoces.

-Ruido Rosa . Usado principalmente para mediciones de respuesta en conexión con un analizador de ancho de banda de proporción constante.

-Ruido Blanco. Usado principalmente para mediciones de respuesta en conexión con un analizador de ancho de banda constante.

Estas cuatro formas de onda son disponibles en un rango de frecuencia que va desde 2Hz a 200KHz.

Otras características de este Generador pueden ser:

-Seis anchos de banda de ruido desde 3'16Hz a 1KHz.

-Escalas de frecuencia lineal y logarítmica.

-Display de frecuencia de 6 dígitos.

-Rango dinámico hasta 90dB.

-Circuito compresor que puede ser usado en todos los modos de señal.

- Seis velocidades de compresor desde 3 a 1000dB/sg.
- Siete tiempos de promedio desde 0'1 a 100sg.
- Entrada de voltímetro separada.
- El medidor indica,el voltaje de salida,el voltaje de entrada de compresor,la compresión,y la entrada del voltímetro.
- Oscilador controlado por voltaje de alta estabilidad.
- Salida para conexión con el Grabador de Nivel.
- Conexiones de filtros externos,como pueden ser filtro de paso banda,de banda de octava y tercio de octava.

11-. GENERADOR DE RUIDO .-

El Generador de ruido está diseñado para suministrar ruido blanco en el rango de frecuencias desde 20Hz a 100KHz.

Tiene una densidad espectral uniforme de $10^{-4}V^2/Hz$. Este ruido blanco es hecho en un generador, el cual pasa a uno de los dos filtros por medio de un atenuador que fija el nivel de salida. La señal del atenuador puede ser corto circuitada para parar la salida (para mediciones de tiempo de reverberación).

Las dos secciones amplificador/filtro paso bajo limitan la frecuencia superior de la señal de ruido blanco, la primera a 100KHz y la segunda a 20KHz.

La señal de salida del primer filtro es alimentada a un circuito de ponderación de -3dB/oct. para hacer una señal de ruido rosa en el rango de frecuencia de 20Hz a 50KHz.

Esta misma salida de filtro alimenta a un sistema de amplificador compresor que la comprime de acuerdo a la presente señal en la entrada del compresor. El área de compresión podemos leerla en el medidor.

Tiene seis velocidades de compresión desde 3 a 1000dB/sg.

La relación señal/zumbido es mayor de 90dB, para salida de ruido blanco; y mayor de 70dB para ruido rosa.

12-. AMPLIFICADOR DE MEDIDA .-

Este instrumento es un voltímetro-amplificador de multiosos, y está caracterizado por su gran versatilidad, amplio rango de mediciones, y precisión en laboratorios.

El Amplificador de Medida está equipado con dos entradas AC:

-una entrada directa, que es usada para mediciones de vibración y voltaje;

-una entrada de preamplificador, para mediciones de sonido.

La entrada de preamplificador suministra voltajes estabilizados para potenciar preamplificadores de micrófonos.

Las entradas directa y preamplificada tienen unos propios ajustes, para facilitar el uso de un amplio rango de transductores de diferente sensibilidad. Estos ajustan la ganancia del amplificador de la sección de entrada y junto con unos 50mV incluidos, una fuente de referencia senoidal de 1KHz, posibilita que sean calibrados los amplificadores de medida.

Aparte de usar una referencia externa para calibrar, el voltaje de referencia interna es ideal para la calibración de cintas magnéticas y equipos de grabación de gráficos, que pueden ser usados en los amplificadores de medida.

La combinación de las secciones de atenuador y amplificador en cascada usadas con las secciones de amplificador

de entrada y salida del Amplificador de Medida, le da buena linealidad de amplificación de señal además de distorsión baja y ruido bajo.

Su atenuación y amplificación nominal total es de 100 a -30dB, y puede ser variada en unidades de 10dB para dar rangos de mediciones de voltaje de 10 μ V a 30V, para la completa deflección de escala en sus medidores.

La ganancia de la sección de entrada y salida puede ser controlada remotamente, estando el Amplificador de Medida conducido bajo la dirección de un calculador programable o otro instrumento digital que puede ser conectado por medio del enchufe del "Interface Digital".

Las secciones de amplificadores de entrada y salida tienen separador detectores de sobrecarga.

Los dos detectores de sobrecarga responden a picos de señal positivo y negativo, tan cortos como 200 μ s y una vez disparados causan el encendido de las luces de ganancia de sección de entrada y(o) salida.

Para satisfacer requerimientos de voltaje de entrada máximo, el nivel de disparo de sobrecarga puede ser cambiado así que es equivalente a 5 o 10 veces el rango de voltaje particular seleccionado para mediciones. Estos corresponden a una valoración de voltaje de entrada máximo de 5 o 10V en la entrada de un filtro externo.

Los Amplificadores de Medida son equipados con un filtro de paso alto de 22'4Hz y un sistema de ponderación "A". Además tiene un filtro paso bajo de 22'4KHz más unos siste

mas de ponderación "B", "C" y "D". Estos sistemas de ponderación son utilizados para mediciones de sonido. Los filtros de paso alto y bajo serán utilizados para todos los tipos de medición cubriendo el rango de frecuencias audibles, ayudando a reducir las altas y bajas frecuencias producidas por el ruido ambiente.

El Amplificador de Medida puede ser conectado con filtros externos, para el análisis de frecuencia. Estos pueden usarse con o sin filtros internos o sistemas de ponderación.

Como veremos en su diagrama de bloque, existe un rectificador logarítmico, cuyo rango dinámico es de 70dB, que rectifica la señal, suministrando por medio de un circuito integrador especial una indicación de medidor RMS con una exactitud de ± 0.5 dB, además de una tolerancia de factor de cresta de 10. Pueden manejarse factores de cresta hasta 50.

Además de las funciones de ponderación de tiempo "Rá-
pido" y "Lento" hay un modo "Impulso" (que incluye una cons-
tante de tiempo de 35msg).

Seis fijaciones de tiempo promedio efectivo desde 0.1 a 30sg son posibles, y pueden ser seleccionadas remotamente por medio del Tiempo Promedio o por medio del "Interface Digital". Esto es de mayor beneficio cuando usamos un filtro de paso banda de octava o tercio de octava, posiblemente junto con un calculador programable.

Para mediciones de niveles de pico, los modos "+Pico", "-Pico" y "máx Pico" son disponibles. Acomodar para diferentes tipos de señal, la selección independiente de tiempos de su-

bida de 5,0'5,y0'05dB/ μ sg, además de funciones de retraso "Rápido", "Lento" y "Hold 0'5", son posibles, los cuales pueden ser fijados para ignorar los impulsos de ruido de alta frecuencia no deseados y el sobredisparo de componentes.

Existe un modo llamado "Hold", por medio del cual el pico máximo, el nivel de impulso o RMS de señales de corta duración y resultados (eventos) sencillos pueden ser captados y expuestos en el medidor. De cualquier forma, en este caso los picos de señal tan cortos como 8 μ sg pueden ser medidos, los cuales tienen una excursión de pico de 40dB. Se pueden medir señales de 12 μ sg para mediciones sobre el rango dinámico de 60dB del Detector de Pico.

El Amplificador de Medida está equipado con una fila de luces de indicación de rango por el medidor, y están suministradas con escalas intercambiables que son calibradas para lectura directa de medidas de vibración, de voltaje, o de sonido.

Puede seleccionar rangos de display logarítmico de 60dB, de 30dB, y lineal; y son indicados por luces en lo alto del medidor. Las escalas del medidor son intercambiables según la medida que se quiera hacer.

Este Amplificador de Medida tiene dos salidas AC y una DC, para alimentar cintas magnéticas y grabadores de nivel.

Las salidas AC dan amplificación de la señal de entrada, mientras la salida DC produce un rectificado.

La máxima salida para relación de ruido de las salidas AC es 100dB. Para mediciones de impulso y de RMS el máximo

rango dinámico es de 70dB, mientras para mediciones de pico es de 60dB.

Otra salida de este amplificador es el bus Interface Digital. Este es compatible con IEC 625-1 para aparatos de medida programables y al igual que para salidas de resultados de mediciones transmitidas por medio del Convertidor A/D de 10bit en el instrumento. Los resultados pueden ser enviados en intervalos de 10msg, y son transmitidos en formato de impresor o calculador adecuado para aplicación a otros equipos digital teniendo un Interface compatible con las normas IEC o IEE.

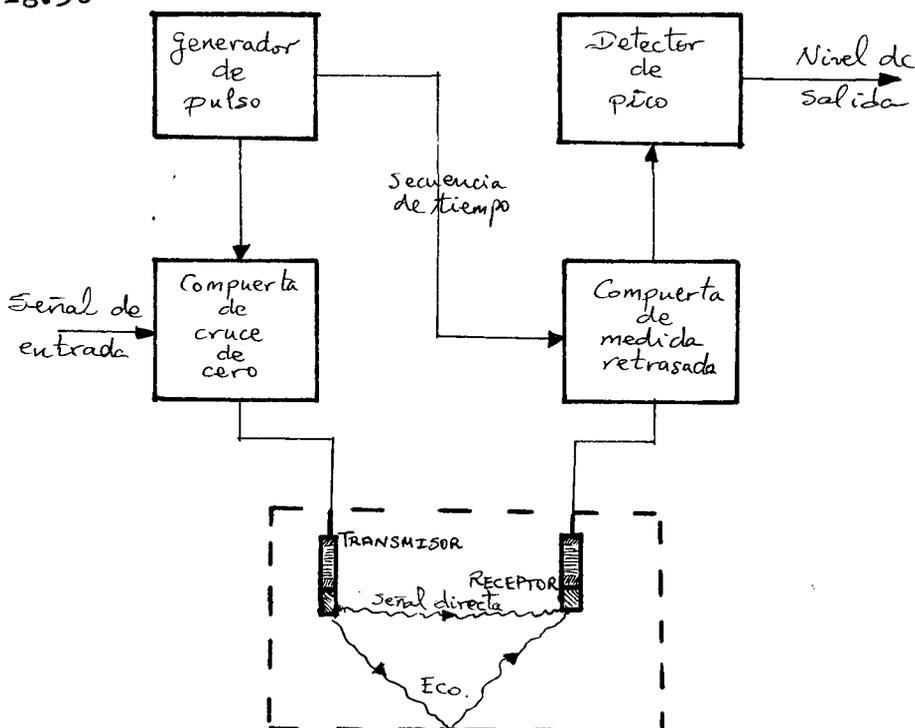
13 -. SISTEMA DE COMPUERTA .-

El sistema de compuerta es el instrumento que permite que los transductores puedan ser calibrados exactamente cuando las reflexiones están presentes.

La calibración es realizada por emisión de un impulso desde el lado transmisor del sistema de compuerta, y entonces medida la señal recibida por un único corto periodo durante el tiempo cuando la señal directa está siendo recibida. Este bloquea las señales reflejadas completamente, y da resultados de medida correspondientes a aquellas obtenidas bajo condiciones de campo libre.

El Sistema de Compuerta consta básicamente de una compuerta de impulso de tono, una puerta de medida seguida de un detector de pico. Su principio básico lo podemos representar de la siguiente manera:

Fig.36-



Si se desea tener una mayor información de su constitución, posteriormente en el apéndice daremos un diagrama de bloques más minucioso. En este diagrama de bloques se diferencia claramente una sección de transmisión y una sección de medición.

Las características principales de la primera de ellas son:

- Entrada: 0'3 a 1V RMS.
- Salida máxima: 15V pico (200mA pico). Ganancia de entrada a salida de 20dB.
- Impedancia de salida: menor de 1Ω .
- Rango de Frecuencia: 0'1Hz a 200KHz.
- Salida de Compuerta de pulso: 50Ω de impedancia. Compatible con TTL.
- Velocidad de pulso: 0'5 a 15Hz ($\pm 10\%$).
- Duración de pulso: 100 μ s a 1sg.
- Disparo externo: 0'1Hz a 200Hz. Compatible con TTL.
- Exactitud de cruce de cero: $\pm 1\mu$ s en frecuencias bajas, 10° a frecuencias altas.

Y las características principales de la sección de transmisión será:

- Retraso: retraso inicial: 50 μ s. Y 100 μ s a 1sg.
- Ancho de compuerta: 30 μ s para 1sg.
- Salida de compuerta de medida: 50Ω de impedancia. Compatible con TTL.
- Ganancia en modo lineal: 0dB entre la entrada de señal y la salida AC. 0dB(pico) $\pm 0'5$ dB entre la señal de en-

trada y la salida DC.

-Filtro:-12dB/oct. entre 2KHz y 200KHz.

-Rango dinámico entre amplificadores y detector:Mucho mayor de 50dB.

-Salida AC:máximo de 7v de pico.

-Salida DC: de 7v a -3v.

-Modos de detector(selector de disparo):Disparo interno o externo:repetitivo.Pulso sencillo y detector libre: menor de +1dB de desviación despues de estar mantenido el tiempo mas de 10 minutos.

14 -. MEDIDOR DE LLORO Y TREMOLEO .-

Este instrumento se utiliza para mediciones de tremoleo y deriva en equipos de reproducción y grabación de sonido.

Posee 3 dígitos (led) de indicación del % del rango de tremoleo y % de deriva.

Conectando sus entradas con una señal de 3 o 3'15 KHz grabada en disco, película o cinta, automáticamente seleccionará el rango de medición correcta, dando una directa indicación del porcentaje de tremoleo en menos de un segundo, y el porcentaje de deriva de la velocidad de grabación/reproducción.

En grabaciones y reproducciones de sonido, la velocidad a que los tocadiscos, los magnetofonos y los equipos de películas transportan el medio de grabado es muy crítica. Algún cambio en velocidad, no importando su magnitud, ocasiona que en modulación de frecuencia hayan sonidos de reproducción y de registro distorsionados, destruyéndose la claridad y el deleite de escucha.

El motor de arrastre del tocadiscos y sus mecanismos son fuentes de vibraciones mecánicas, que se transfieren al disco por medio del mismo plato soporte. A estos fenómenos de origen mecánico se le conoce con el nombre de "tremor" (Rumble).

Cada defecto o distorsión la podemos definir con res-

pecto del porcentaje de modulación en frecuencia que experimentan las señales registradas por causa de las inestabilidades de la velocidad. Así definiremos:

-Deriva (drift). Es la modulación de frecuencia en el rango por debajo de 0'5 Hz, que puede ser percibido como un cambio constante lento del tono, que incluso a veces ni siquiera se aprecia este cambio.

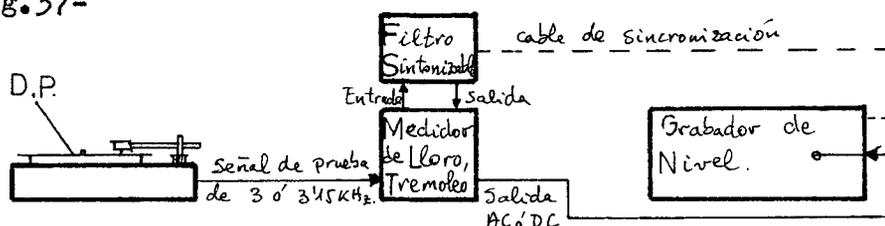
-Lloro (wow). Es la modulación de frecuencia en un rango comprendido entre 0'5 y 10 Hz, que puede percibirse como una fluctuación en el contenido tonal (tono reproducido).

-Tremoleo o Aleteo (flutter). Es la modulación en frecuencia en un rango comprendido entre 10 y 100 Hz, que puede ser percibido como una aspereza de la calidad del sonido.

-Centelleo o Aleteo de Chirrido (Scrape flutter). Es la modulación en frecuencia en el rango superior a 100 Hz, que se percibe como un ruido añadido a un sonido reproducido y que no aparece en ausencia de señal grabada.

Las mediciones de lloro y tremoleo se realizan con un medidor (de lloro y tremoleo) junto con unos filtros de ponderación que ponen énfasis en un determinado campo de medida, de la siguiente manera.

Fig. 37-



Para esta clase de mediciones utilizaremos el disco QR 2010, el cual contiene en especial 1 minuto de una señal de prueba de 3815 KHz.

Usualmente para una fácil y simple medición, el lloro, la deriva, el tremoleo y el aleteo de chirrido son frecuentemente referidos colectivamente como tremoleo, que entonces significaría toda forma de modulación en frecuencia no deseada entre 0'1 y 1000 Hz.

Este medidor tiene unas salidas AC y DC, que posibilitan conectar el aparato con registradores de nivel.

15-. FASIMETRO .-

Es un instrumento que mide el ángulo de fase entre dos (alternantes) voltajes a la misma frecuencia en el rango comprendido entre 2Hz y 200KHz. El ángulo medido está indicado en radianes o en grados, y que es mostrado en un display digital.

Este display también indica los adelantos y atrasos producidos que no son conocidos con respecto al de referencia. Los displays son complementados por una salida DC (que varía entre 0 y 3'6v con mediciones en radianes, y entre 0 y 6'28v en mediciones en grados) adecuada para el uso con grabadores de nivel, y una salida digital que puede también ser grabada o alimentada a un computador.

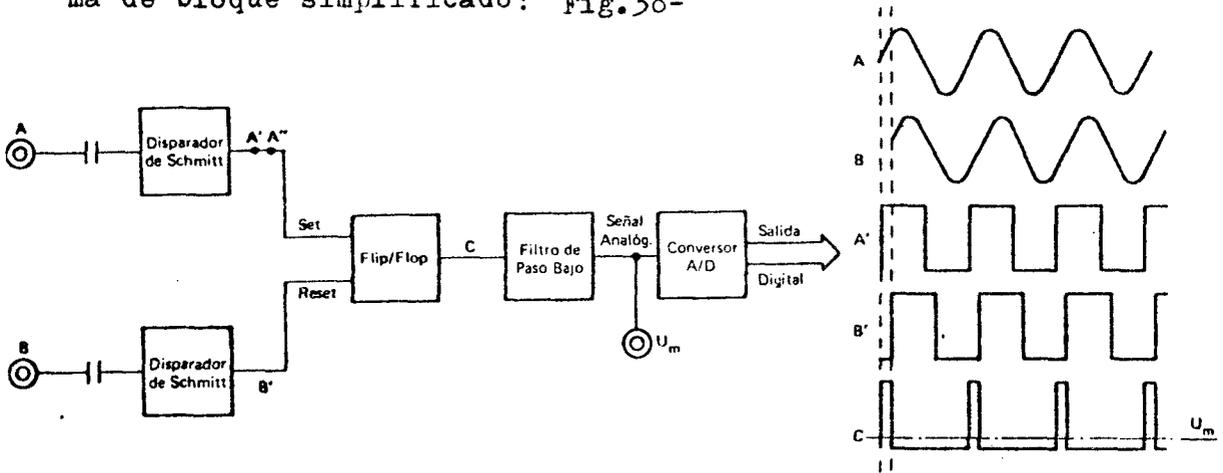
Este acepta rangos de voltaje entre 10mV y 5V, pero como algunos instrumentos tienen 10v de salida, también está previsto de un rango de 30mV a 15V. No es necesario para los canales de entrada tener el mismo voltaje.

Puede ser medida cualquier forma de onda, bien sea cuadrada, senoidal, o sean trenes de pulso.

Un par de interruptores pueden ser usados para limitar el rango de frecuencia del instrumento. El límite de la frecuencia superior puede reducirse a 20KHz o a 2KHz para suprimir ruido de alta frecuencia, mientras que el límite inferior puede llegar hasta 20Hz reduciéndose así el tiempo de integración del instrumento que da una respuesta más rápida.

para cambiar de fase.

El principio de funcionamiento se basa en este diagrama de bloque simplificado: Fig.38-



La duración de la colocación del flip-flop en excitación está relacionada directamente con el ángulo de fase.

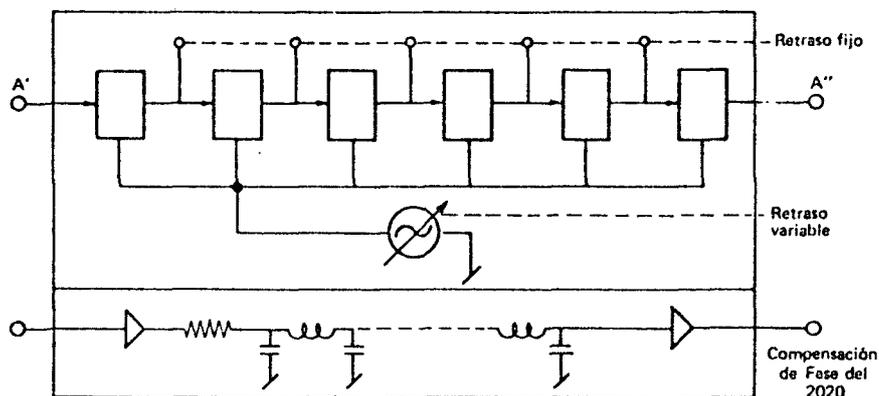
Cuando la salida del flip-flop pasa por un filtro paso bajo, la componente de c-c será proporcional al ciclo del trabajo, y portanto al ángulo de fase.

16-. UNIDAD DE RETRASO DE FASE .-

Este instrumento es un equipo auxiliar del Medidor de Fase, y permite medir las características de fase de altavoces y grabadores de cinta.

La medida de fase en los altavoces son difíciles de realizar, ya que la diferencia de tiempo entre altavoz y micrófono resulta en un gran cambio de fase con crecimiento continuo con la frecuencia. La Unidad de Retraso de Fase resuelve este problema, introduciendo otro retraso equivalente en el canal de referencia del Fasímetro.

El principio de funcionamiento de esta Unidad de Retraso de Fase es: Fig.39-



Como vemos consta de dos partes diferentes:

-Seis registradores de desplazamiento que pueden recibir una señal de reloj interior o exterior para determinar el retraso.

-Un filtro paso bajo para compensar la respuesta en fase de un Filtro Esclavo Heterodino.

Para la medida de grabadores de cintas aparece un retraso de tiempo entre la separación física de las cabezas de registro y reproducción.

Para esta medida la Unidad de Retraso de Fase se usa conjuntamente con una señal de reloj exterior, ya que son sistemas con grandes retrasos (hasta 200msg) en función de la máxima frecuencia que deseemos considerar. Debemos tener en cuenta que el lloro o tremoleo que pueda existir, hacen inestables las lecturas de fase a altas frecuencias.

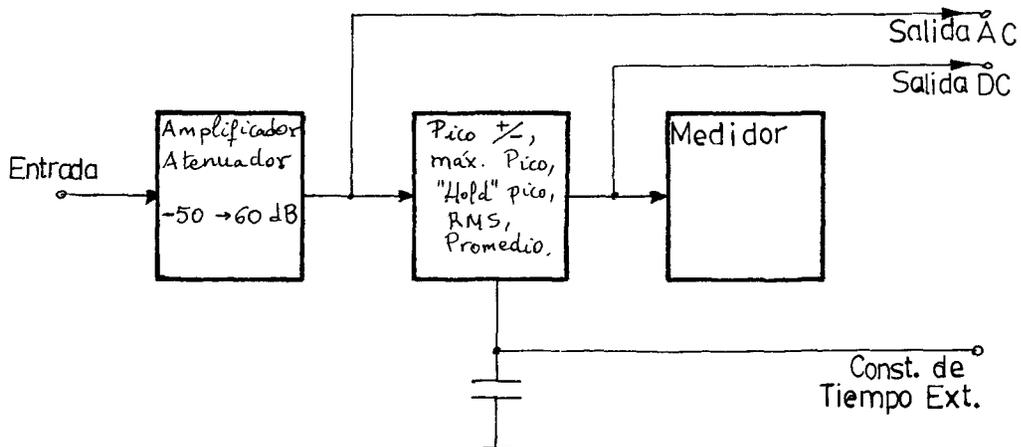
17 -. VOLTIMETRO .-

Es un voltímetro AC con medidor de bobina móvil y selección de rango normal. Los rangos son seleccionados por medio de unos botones de empuje adaptados en unidades de 10dB sobre un rango de 110dB desde 1mV a 300V para la completa deflección del medidor de escala.

Las escalas intercambiables son disponibles, las cuales son calibradas por dBm y mediciones UV.

Una batería externa o una fuente principal AC puede usarse para potenciar el voltímetro. Su diagrama de bloques a grandes rasgos puede ser:

Fig.40-



18-. ANALIZADOR DE FRECUENCIA DIGITAL .-

El Analizador de Frecuencia Digital es utilizado para medir y exponer espectros de octava y tercio de octava en tiempo real y puede ser usado en una amplia variedad de análisis acústico, de vibración, y de otras señales.

Sus características más principales pueden ser:

-Análisis de tercio de octava en tiempo real en 42 canales con frecuencias centrales desde 1'6 Hz a 20KHz.

-Análisis de octava en tiempo real en 14 canales con frecuencias centrales desde 2 Hz a 16 KHz.

-Detector RMS digital para una amplia capacidad de factor de cresta.

-Promedio exponencial y lineal con tiempo promedio seleccionable.

-Entrada y salida analógica y digital.

-Memoria independiente para almacenar un espectro para posteriormente hacer volver y compararla con otro espectro.

-El espectro es mostrado en una pantalla de display con un rango de display de 60 dB.

-La mayoría de los controles externos son programables.

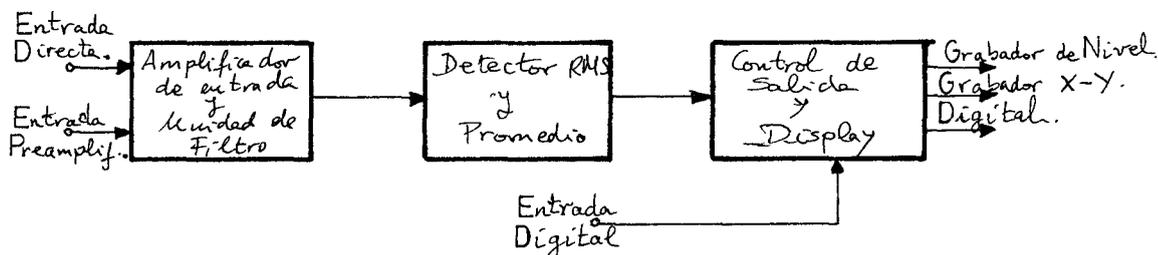
-Análisis de 1/12 de octava.

-Interface compatible con IEC 625-1/IEEE Std. 488.

-Rango de frecuencia: 2 Hz a 100 KHz($\pm 0'2$ dB); y 100KHz a 200 KHz($\pm 0'5$ dB).

Un diagrama de bloque muy básico de como puede ser el Analizador de Frecuencia Digital es :

Fig.41-



Como se puede ver este analizador está dividido en tres grandes bloques:

-Amplificador de Entrada y Sección de Filtro. La señal de entrada es condicionada a los niveles correctos y es convertida en forma digital y analizada.

-Detector RMS y Sección de Promedio. La información digital de la sección de filtro es cuadrada, promediada y entonces logarítmicamente convertida al nivel dB RMS.

-Control de Salida y Sección de Display. Estos controlan la exposición de los datos promedios y analizados en la pantalla de display y el traspaso de dato a otros periféricos, junto con la entrada digital de dato.

19 -. REGISTRADOR DIGITAL DE SUCESOS .-

Está diseñado para captar sucesos de corta duración y reproducirlos cuando se deseen. El instrumento da posibilidades para el control de disparo automático externo e interno, y elección independiente de velocidades de muestreo de grabación y reproducción. Esto hace al instrumento adecuado para usarlo en sistemas de monitorización, análisis de frecuencias de choques, de señales de frecuencia baja y transitorios, y como una línea de retraso.

El instrumento consta de un circuito de muestreo, un convertidor D/A, una memoria, y un convertidor A/D con comando asociado y circuito de control.

Para asegurar que el teorema de muestreo sea realizado, un filtro paso bajo puede ser insertado antes del convertidor A/D mientras la grabación, y después del convertidor D/A mientras la reproducción. La frecuencia de este filtro ("anti-aliasing") es automáticamente cambiada cuando se selecciona la frecuencia de muestreo y se mantiene constante en torno a $1/4$ de la frecuencia de muestreo.

El filtro puede ser conectado fuera si el rango de frecuencias de la señal medida es conocida y el riesgo de "anti-aliasing" no existe. Por este medio el rango de frecuencias del grabador es duplicado.

Las señales de entrada y salida pueden estar en cualquiera de las formas analógica o digital.

El circuito de entrada incluye indicadores de sobrecarga para dar aviso si el nivel de señal de entrada es demasiado alto, y un control de "off-set" y un atenuador de entrada permiten el ajuste del nivel cero y la sensibilidad del instrumento.

20 -. AMPLIFICADOR DE POTENCIA.-

El Amplificador de Potencia ha sido diseñado para conducir pequeños excitadores de vibración. Su rango de frecuencias va desde 10Hz a 20KHz.

Su circuito de entrada consta de un atenuador de 0 a 40dB, variable en unidades de 10dB, seguido de un control de ganancia variable y un preamplificador.

El preamplificador es conectado a la sección del conductor, el cual es equipado con un detector de recorte. Los niveles de señal excesivos en la entrada saturarán el amplificador y recortarán la forma de onda de salida. Esto disparará el detector de recorte que entonces enciende la lámpara de encendido amarilla de recorte. El instrumento permanece activo durante el recorte.

El Amplificador de Potencia puede ser conectado a un Excitador de Vibración para excluir un voluminoso transformador de salida.

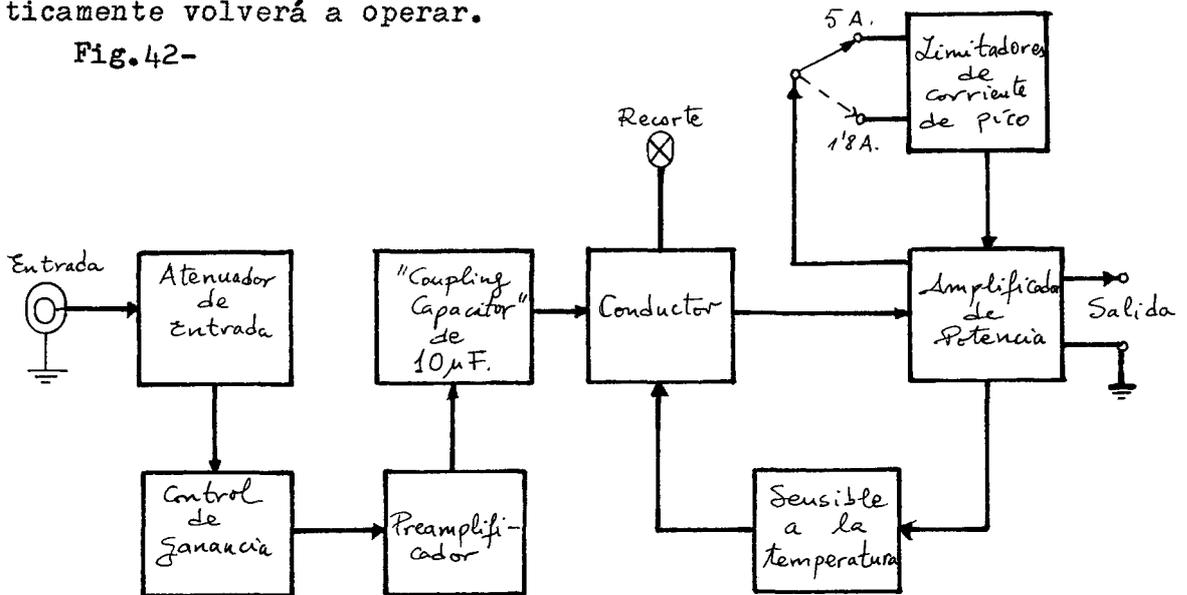
Las limitaciones de corriente de pico en la sección de potencia están dispuestas para suministrar los límites de pico de corriente positivos y negativos de salida.

La sección de potencia de salida está protegida por un aparato de seguridad sensible a la temperatura. Las condiciones de carga anormal, las temperaturas de ambiente altas o la salida de corto circuito, pueden acabar en temperaturas de transistor de salida en exceso de límites de diseño y

consiguientemente avería de transistores.

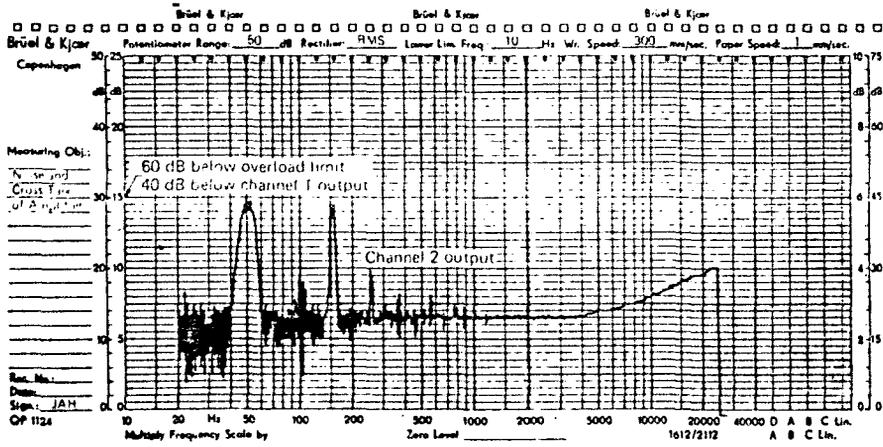
Para prevenir tal peligro el circuito de protección de temperatura bloquean la señal de entrada del amplificador. Cuando la temperatura de bajada de calor vuelve al nivel normal de trabajo, el amplificador de potencia automáticamente volverá a operar.

Fig.42-

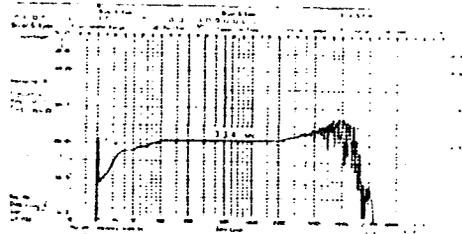


A P E N D I C E "A"

-Práctica 2-.Grabación simultánea de zumbido, ruido y cross-talk.



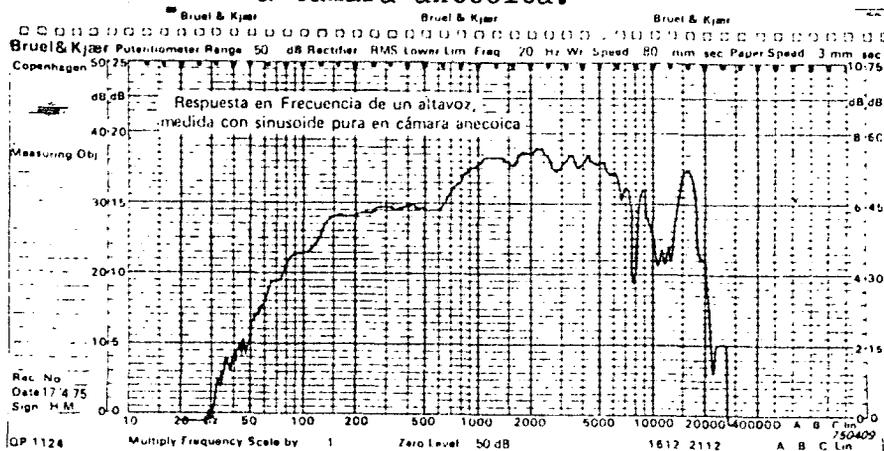
-Práctica 3-.Medida de la respuesta en frecuencia de un magnetófono.



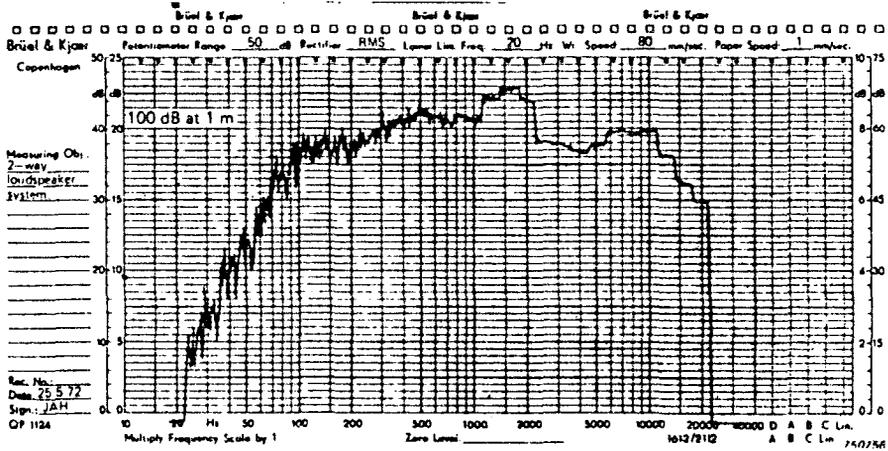
1.2.-Respuesta acústica:

1.2.1.-En un campo libre.

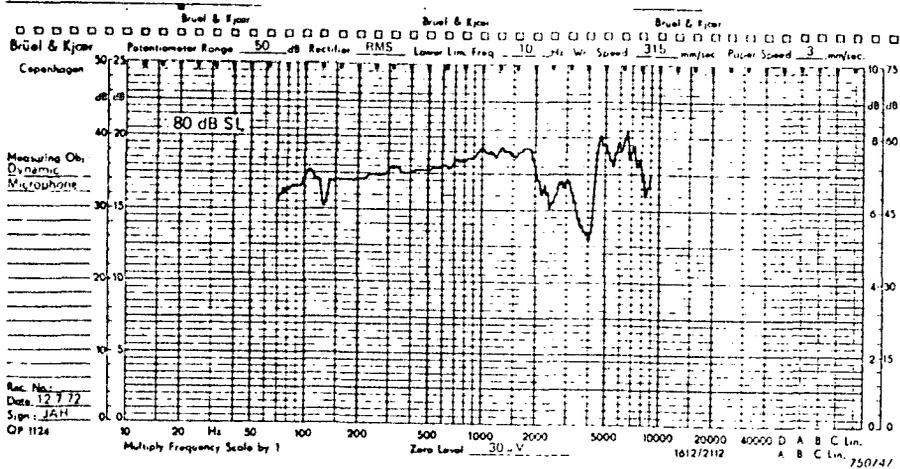
-Práctica 4-.Medida de la respuesta en frecuencia de un altavoz en una cámara anecoica.



-Práctica 5-. Respuesta de un altavoz a ruido de tercio de octava.

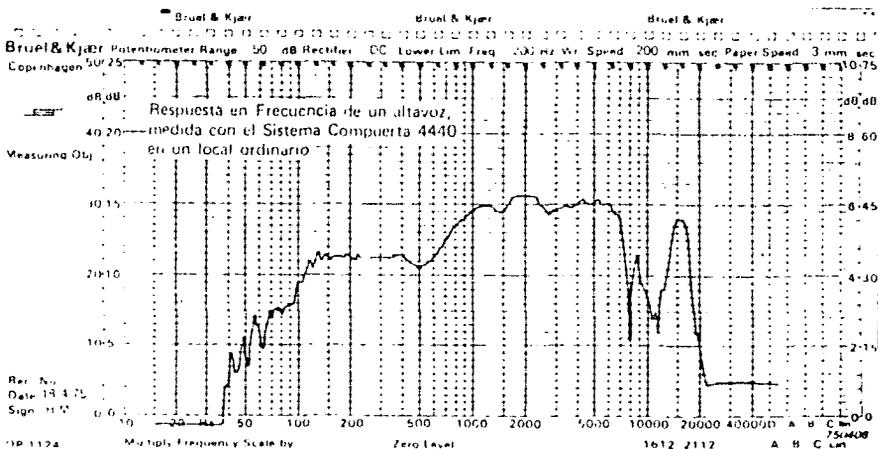


-Práctica 6-. Respuesta de un micrófono dinámico.

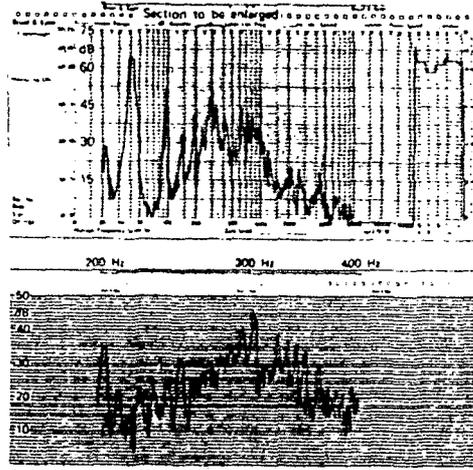


1.2.2.-En locales ordinarios utilizando técnicas de compuerta.

-Práctica 7-. Respuesta en frecuencia de un altavoz medida con sistema de compuerta.

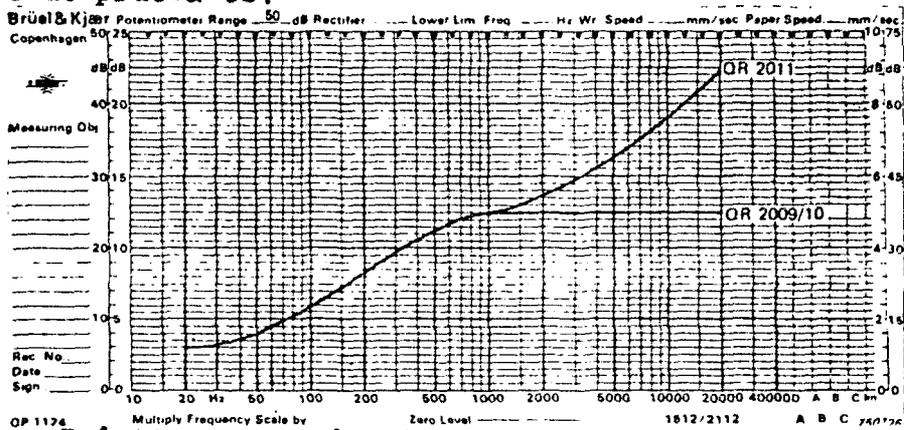


-Práctica 8-.Medida de las resonancias de una caja de altavoces.



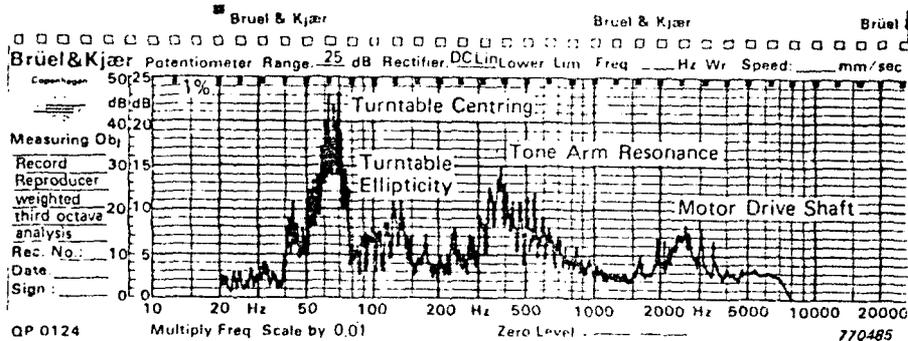
1.3.-Respuesta en frecuencia de captadores en ensayo:

-Práctica 9-.Las características de grabación de los discos de prueba es:



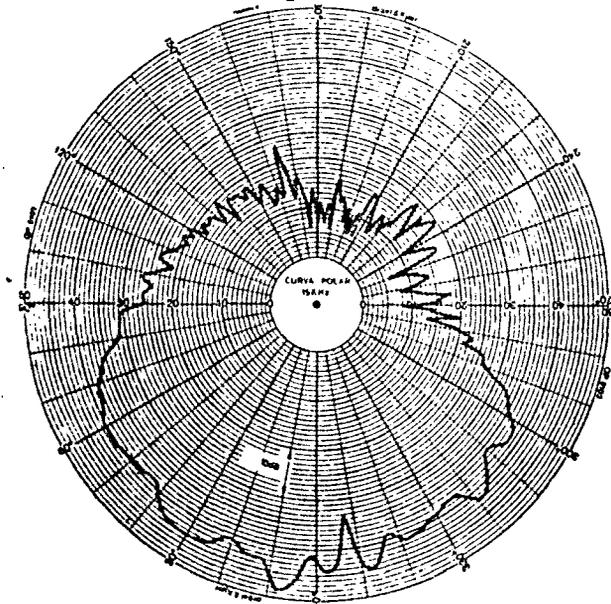
-Práctica 10-.Análisis de tercio de octava de tremo

leo producido por un tocadiscos.



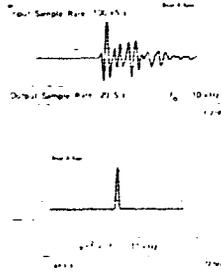
1.4.-Característica direccional de los altavoces:

-Práctica 11-.Curva polar de un altavoz a 15KHz.



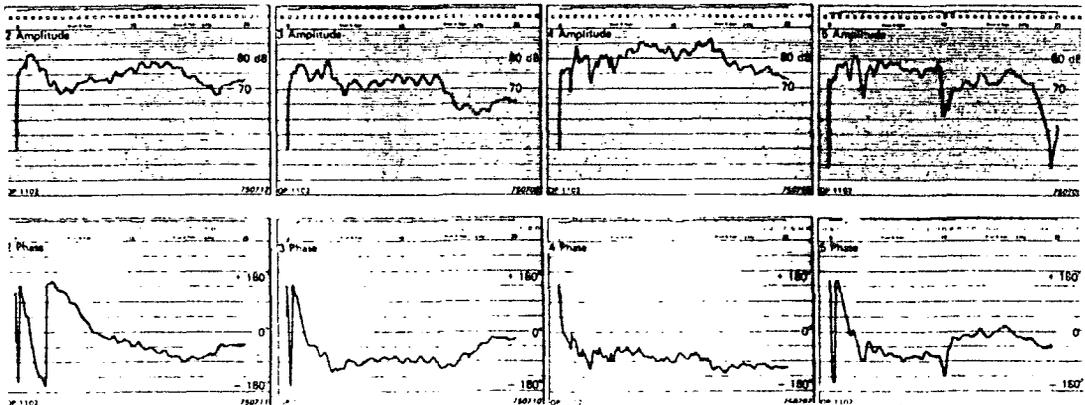
1.5.-Respuesta a los impulsos:

-Práctica 12-.Medida de la respuesta a los impulsos de un altavoz.

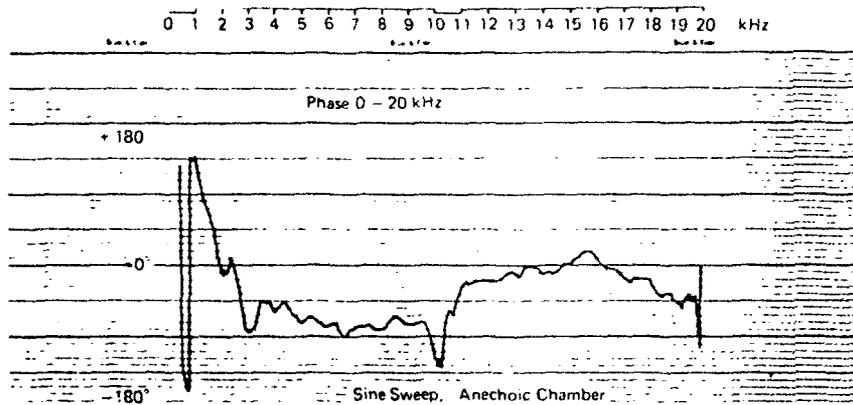


2.-Respuesta en fase y la transitoria relacionada con ella.

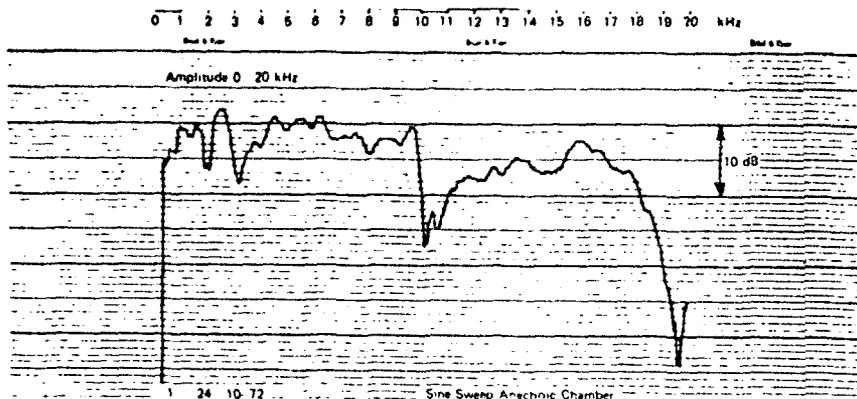
La respuesta en fase junto con la respuesta en amplitud dan la completa función de transferencia. A continuación daremos las curvas de respuesta de amplitud y fase de distintos altavoces en un rango de frecuencia de 0 a 20KHz.



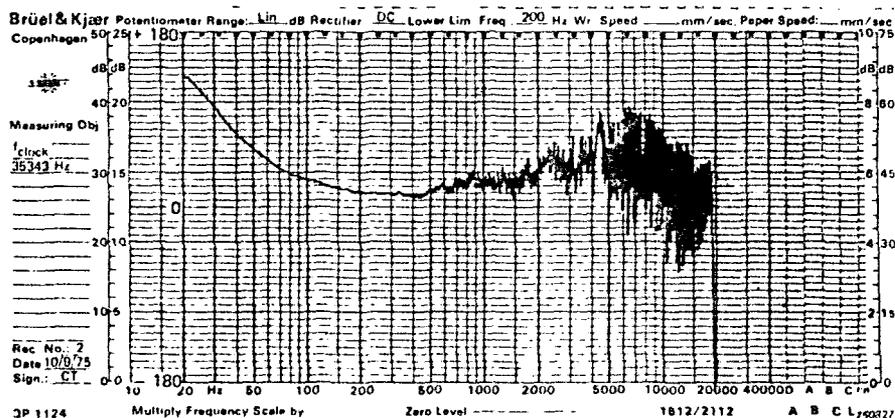
-Práctica 13-. La curva de respuesta en fase típica de un altavoz puede ser:



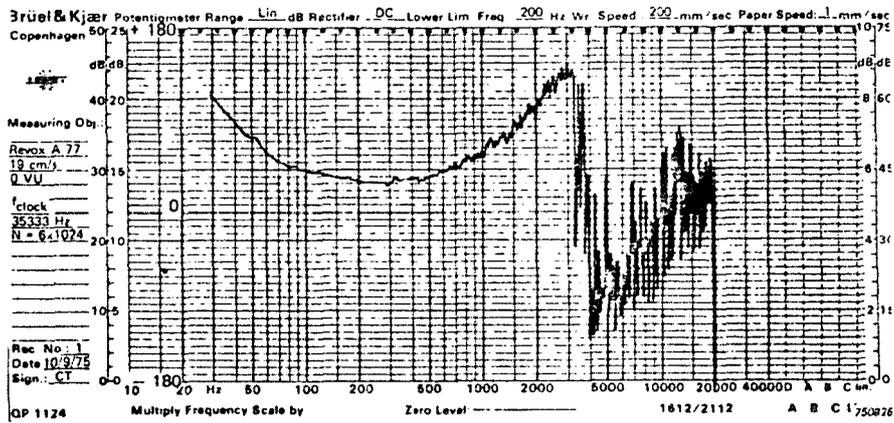
Y la curva de respuesta en amplitud típica puede ser:



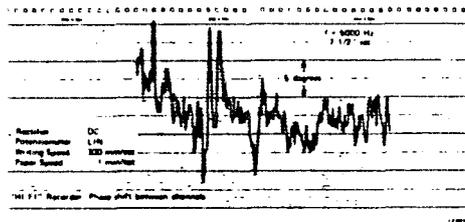
-Práctica 14-. Medida de fase de magnetófono usando un apropiado ajuste de frecuencia de reloj.



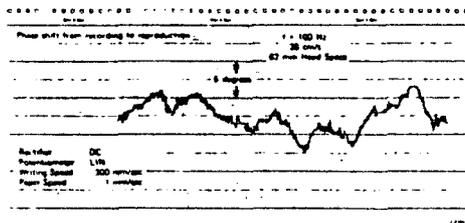
Pero si se utiliza una frecuencia de reloj impropia,
la medida en fase del magnetófono será:



-Práctica 15-.Medida de la fase entre los canales de un magnetofono.

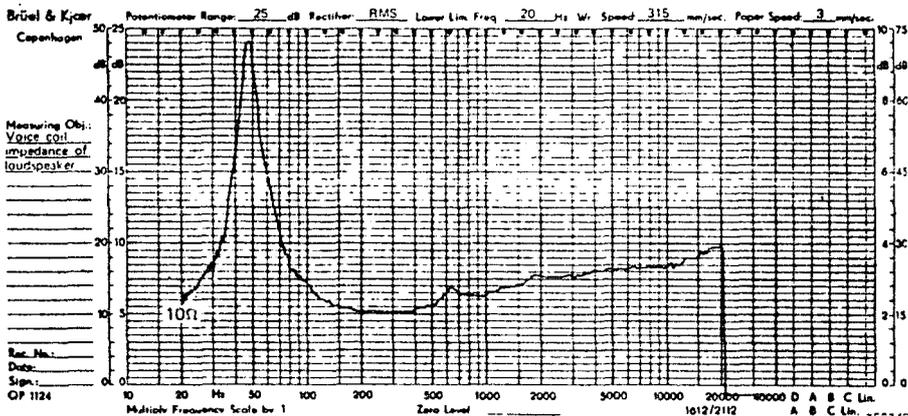


-Práctica 16-.Medida de la fase de un magnetófono para valorar su estabilidad mecánica.



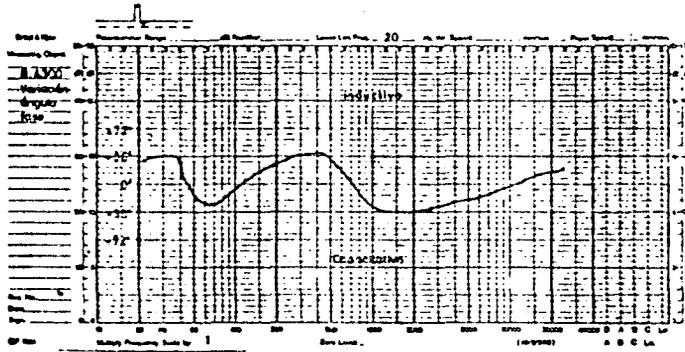
3.-Medida de la Impedancia compleja.

-Práctica 17-.Curva de impedancia de un altavoz.



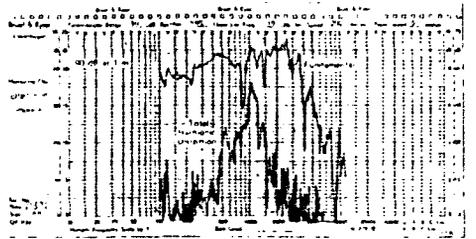
-Práctica 18-.Medida del ángulo de fase de un altavoz

de Hi-Fi.

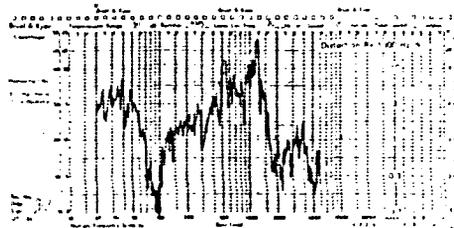


4.-Medida de distorsión.

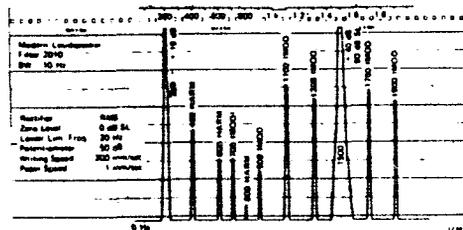
-Práctica 19-.Medida de distorsión armónica total.



-Práctica 20-.Medida de distorsión armónica singular total.

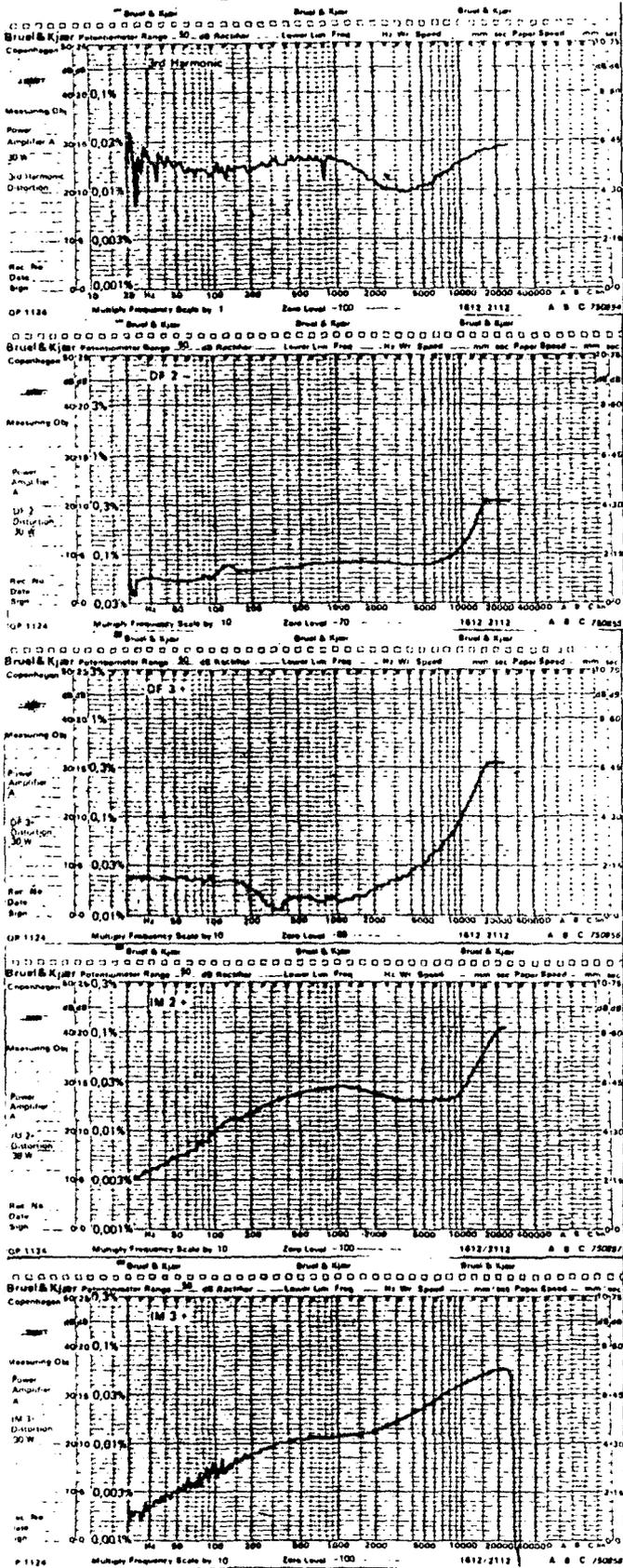


-Práctica 23-.Medida de la distorsión de intermodulación usando dos tonos de frecuencias fijas.

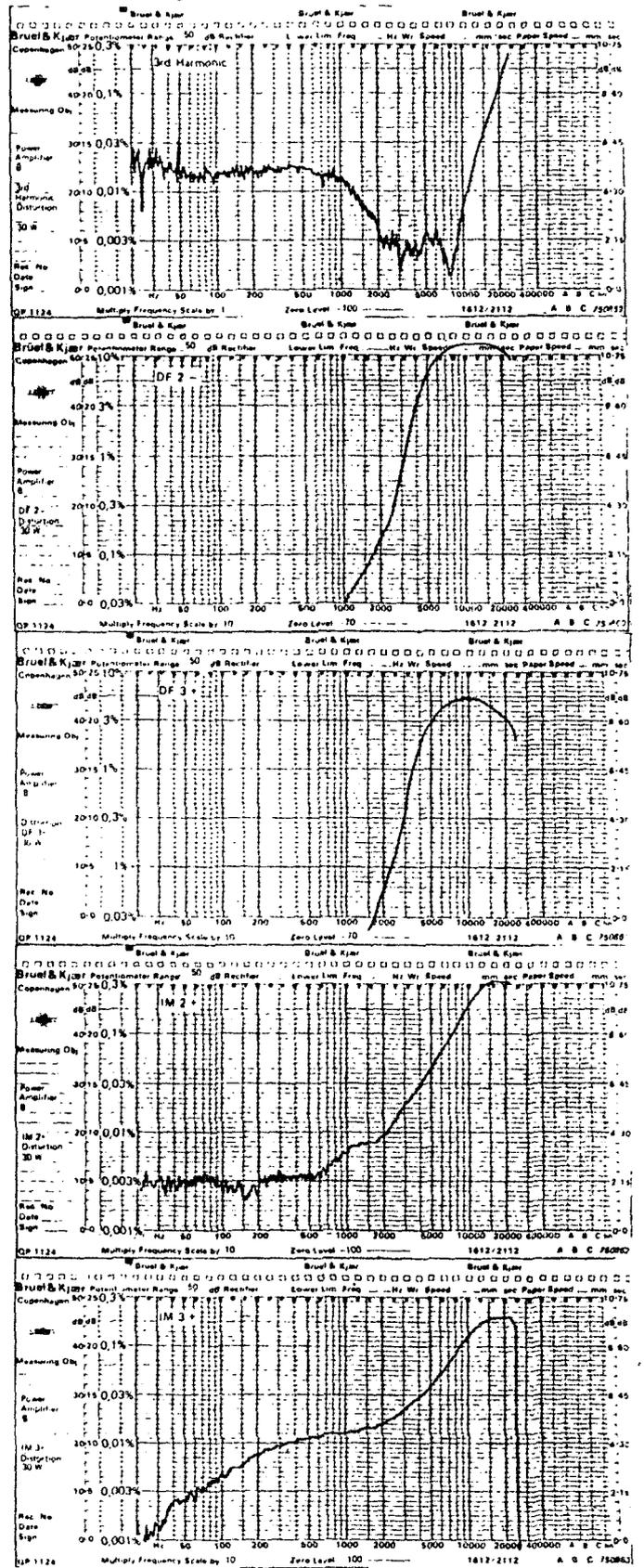


-Práctica 24-.Medida de características de distorsión
de amplificadores de potencia A y B.

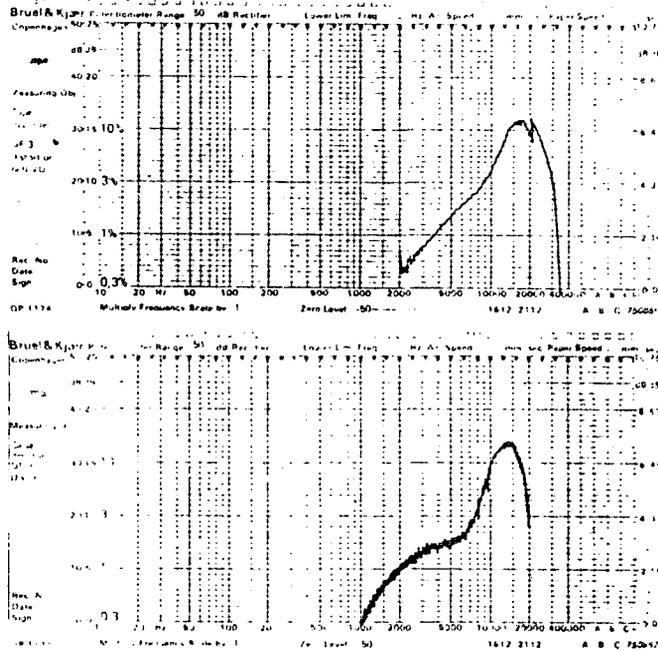
Amplificador A



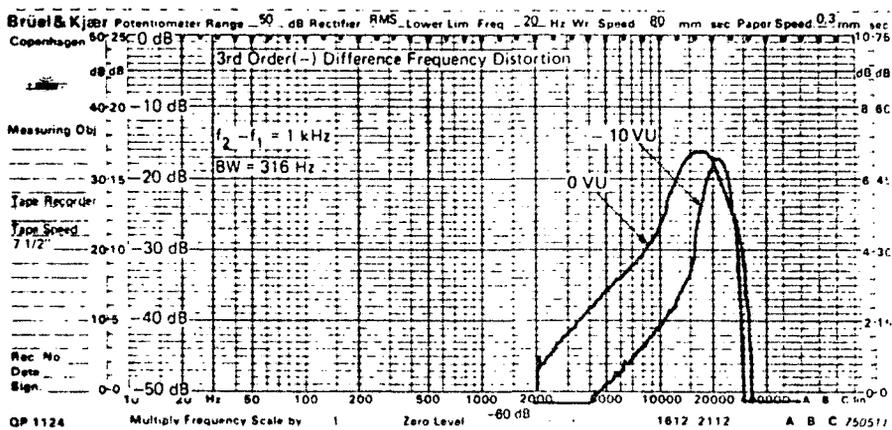
Amplificador B



-Práctica 25-.Las curvas de distorsión,de diferencia de frecuencia de frecuencia de tercer orden,de un grabador de "reel to reel"(de cinta),y de un grabador de cassettes serán respectivamente:

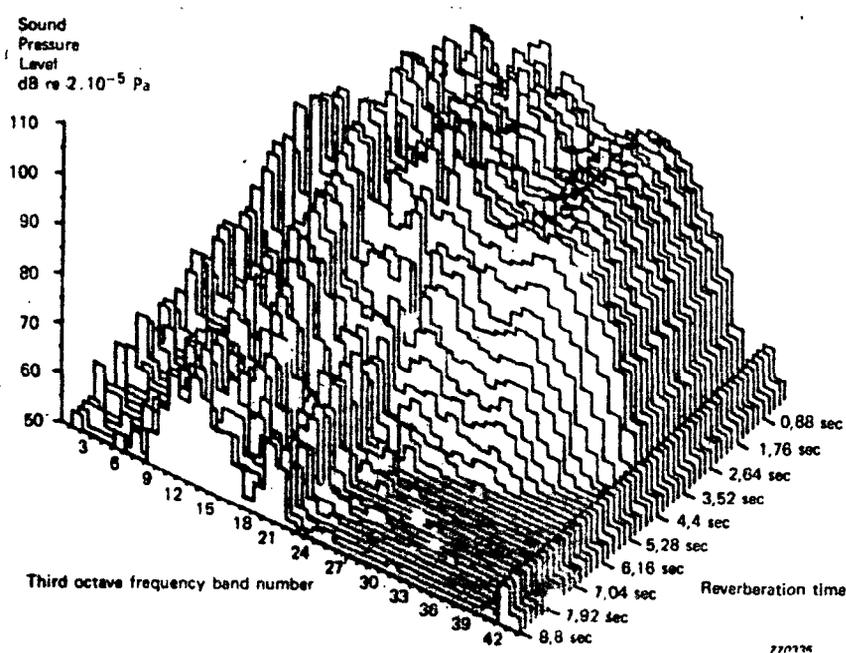


-Práctica 26-.Medida de distorsión de diferencia de frecuencia de un magnetofono,que tiene capacidad de registro y reproducción simultáneo, donde no se prepararán cintas de prueba.



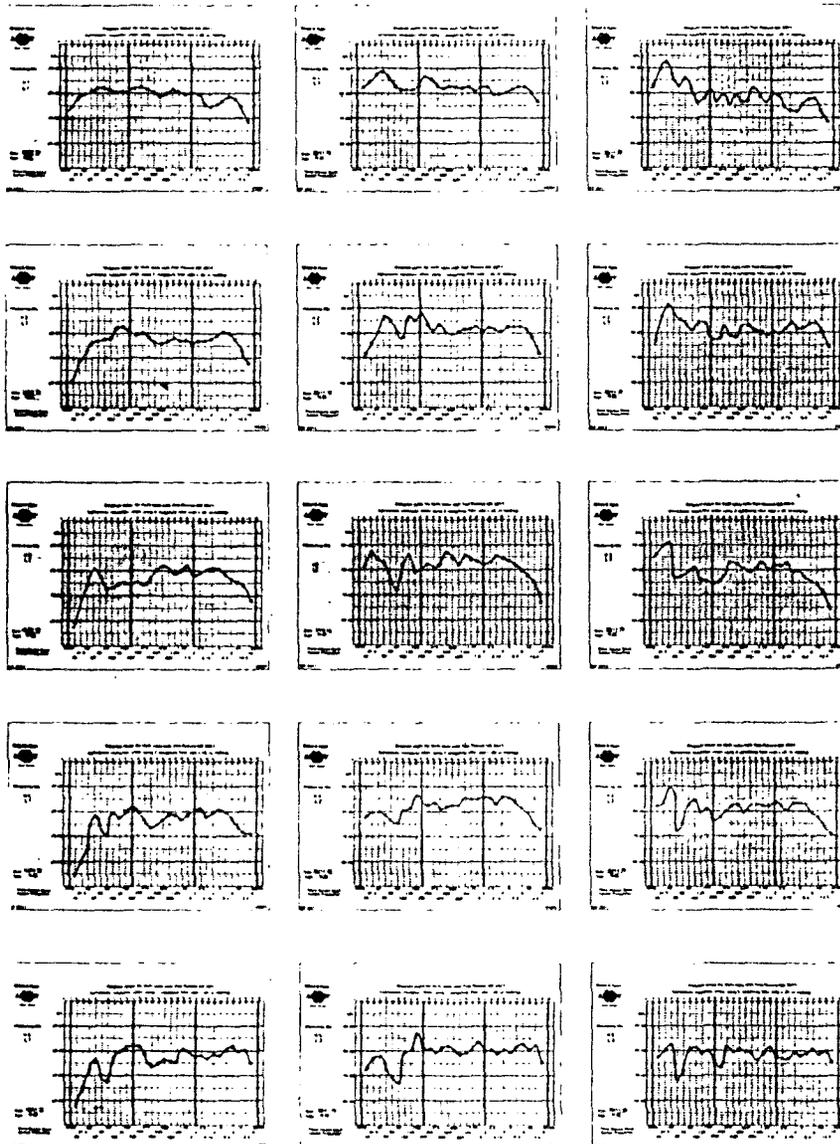
5.-Respuesta en frecuencia de las salas de audición con ruido aleatorio rosa de 1/3 de octava.

-Práctica 29-.Medida de altavoces con tercio de octava empleando el Analizador en tiempo real.Si en lugar de conectarle un grabador de nivel,le conectamos por medio de un IEC Interface un calculador programable(HP 9825A),la figura que obtendremos sería una vista de tiempo-frecuencia-amplitud de la siguiente forma:



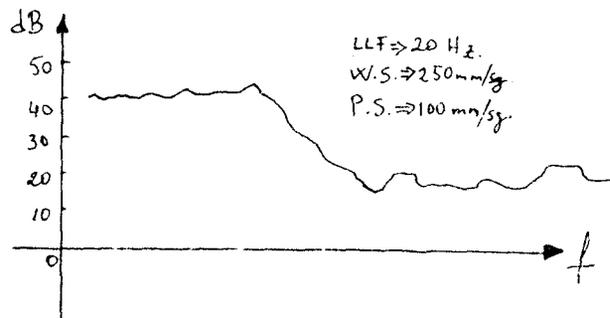
Correspondiente a este tipo de medida, se han realizado distintas medidas por tercio de octava de cinco altavoces en tres salas distintas. Estas medidas verifican la validez de este método.

Como veremos en la figura, las columnas verticales corresponden a cada local, y las filas horizontales a cada altavoz. Como se apreciará los locales ejercerán influencias definitivas sobre los altavoces.

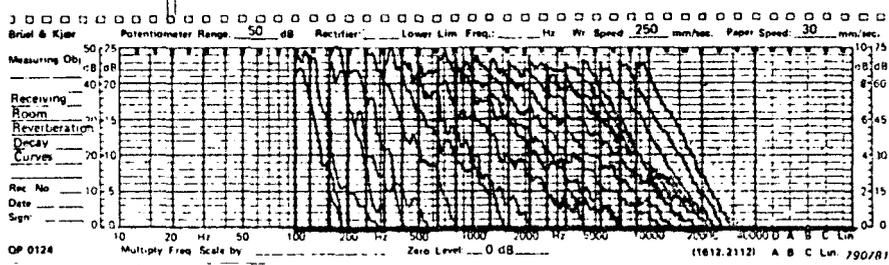


6.-Tiempo de reverberación.

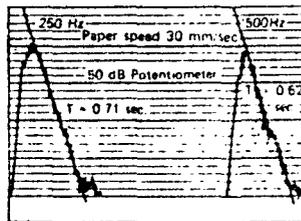
-Práctica 32-. Sistema de medida de tiempo de reverberación .



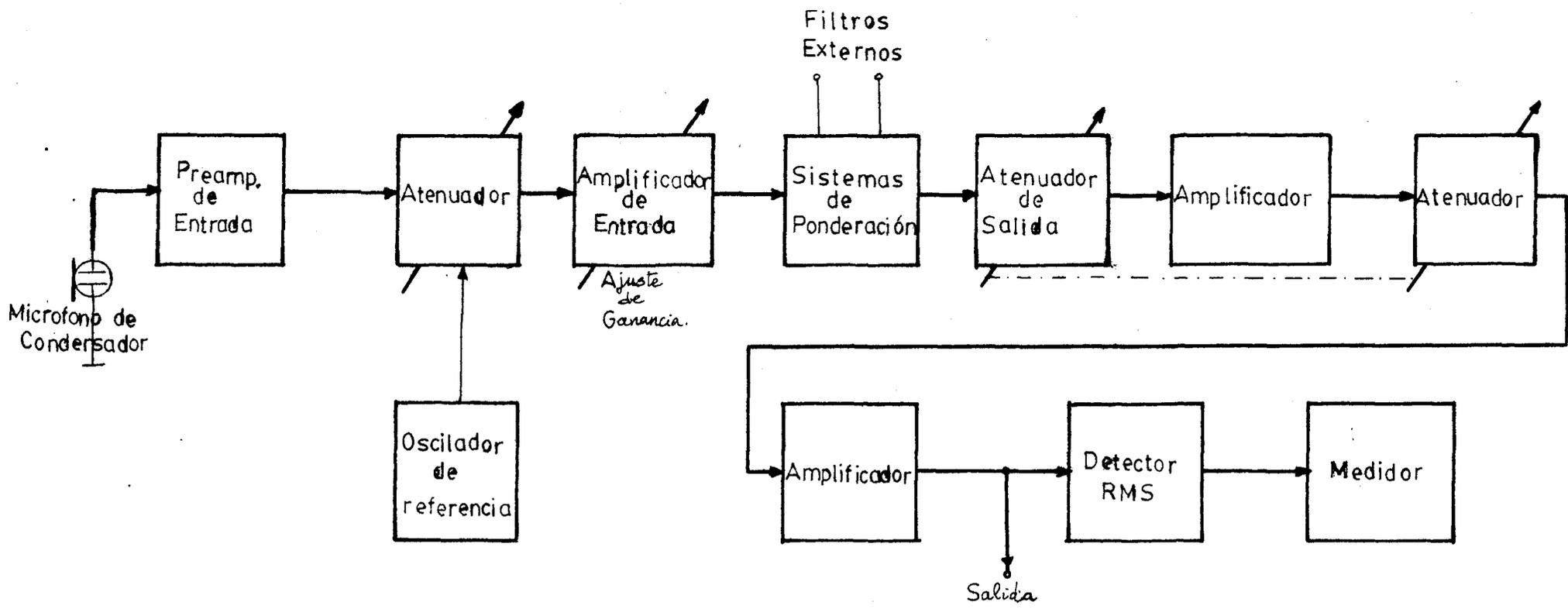
-Práctica 33-. Curva de tiempo de reverberación con un sistema de transmisión y recepción selectivas simultáneamente.



-Práctica 34 y 35-. Curva de tiempo de reverberación excitando el circuito con una pistola.

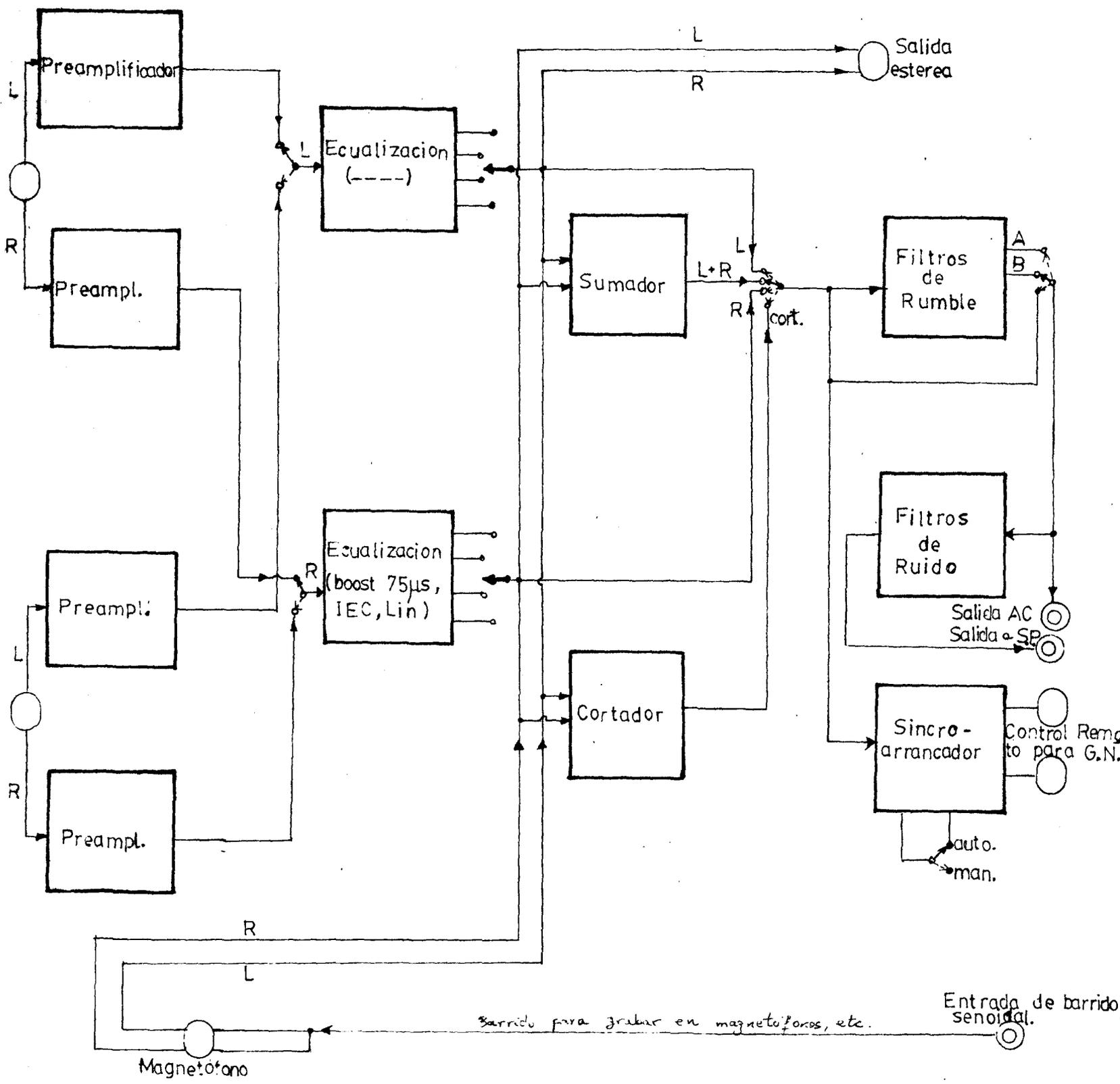


A P E N D I C E "B"
VI—Diagramas de bloques.—

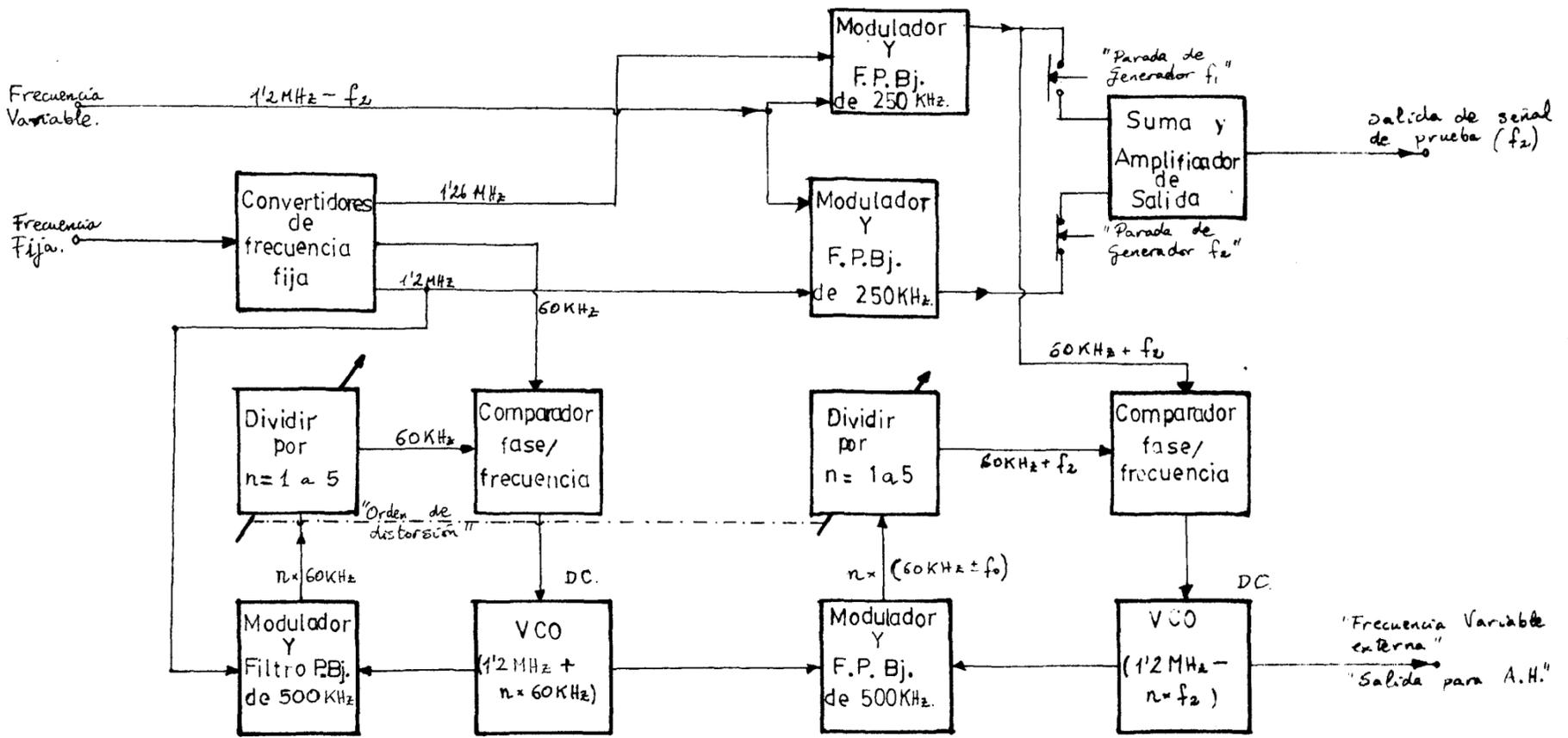


PLANO	Nº 1
DIAGRAMA DE BLOQUE	Sonometro

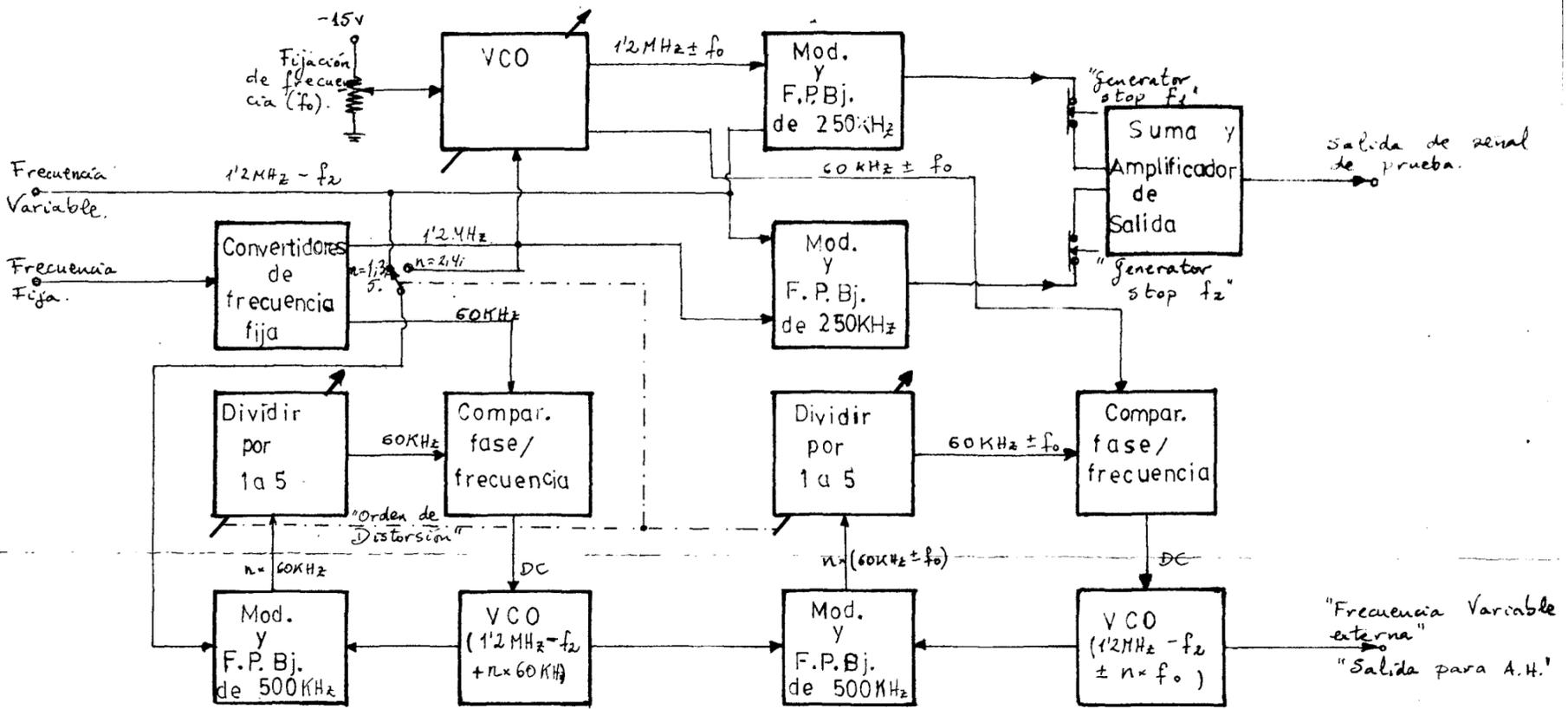
© Del document. los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2008



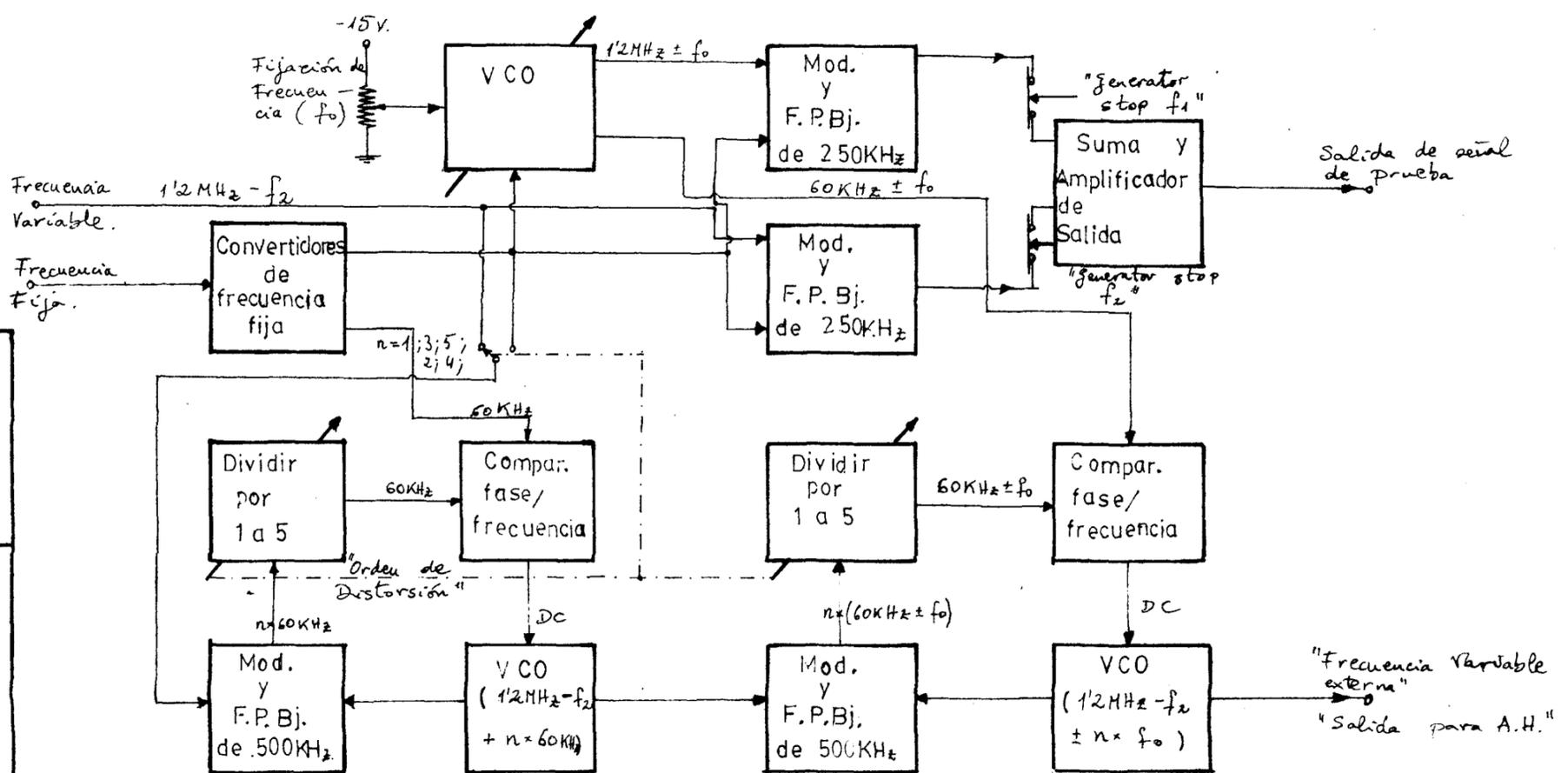
PLANO	Nº 2
DIAGRAMA DE BLOQUE	U.P.R.



MODO ARMONICO

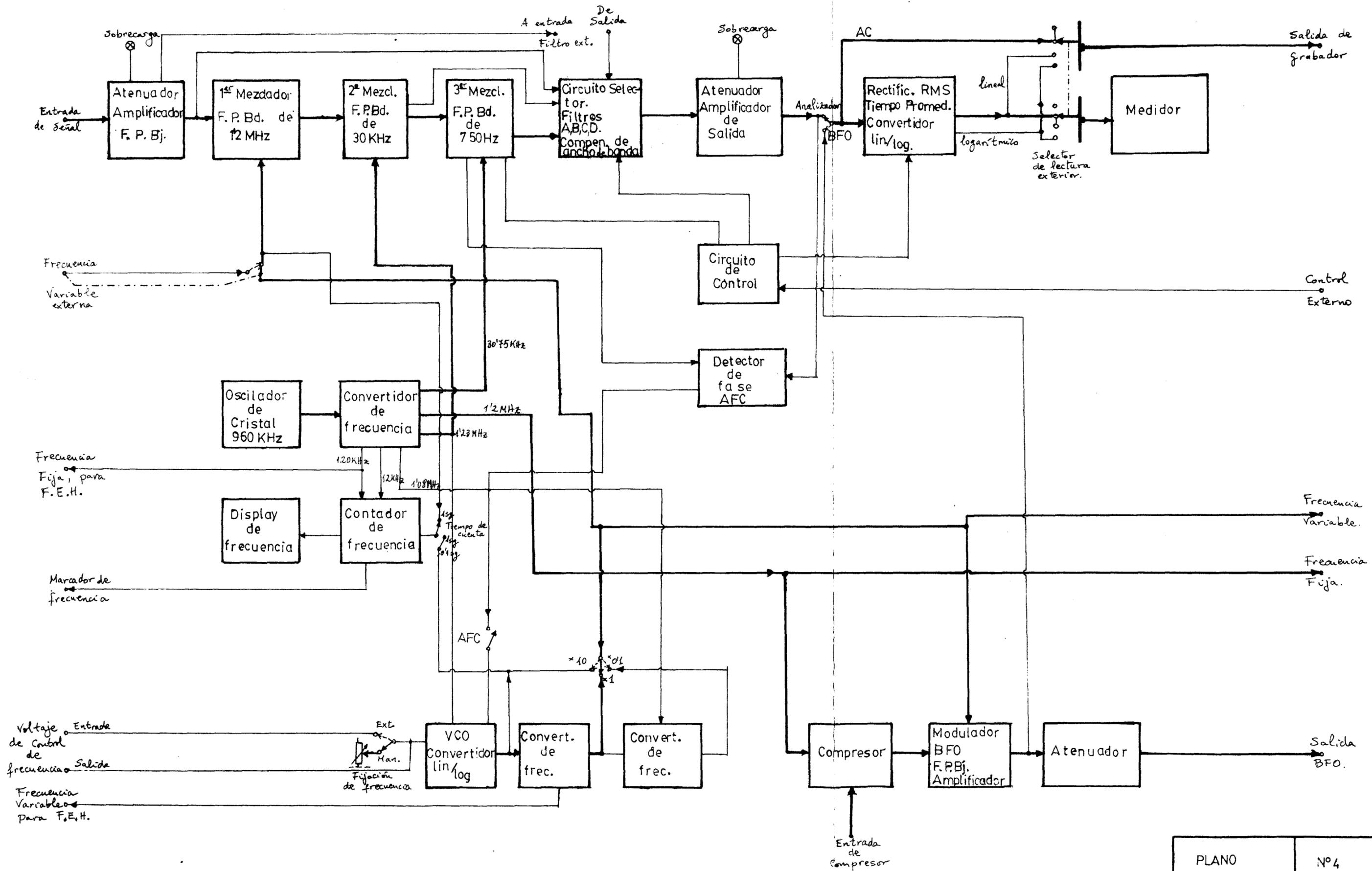


MODO DE DIFERENCIA DE FRECUENCIA

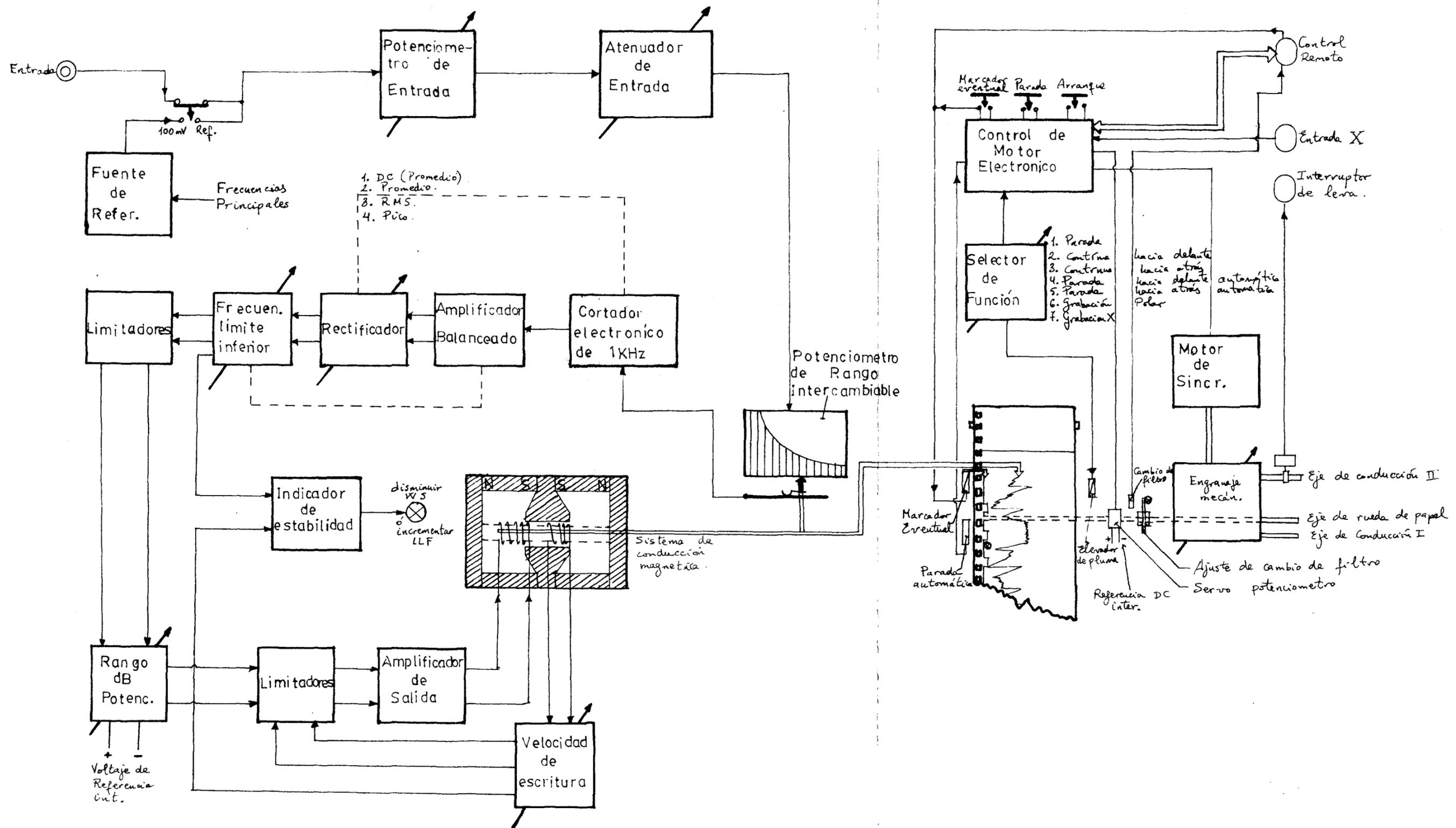


MODO DE INTERMODULACION

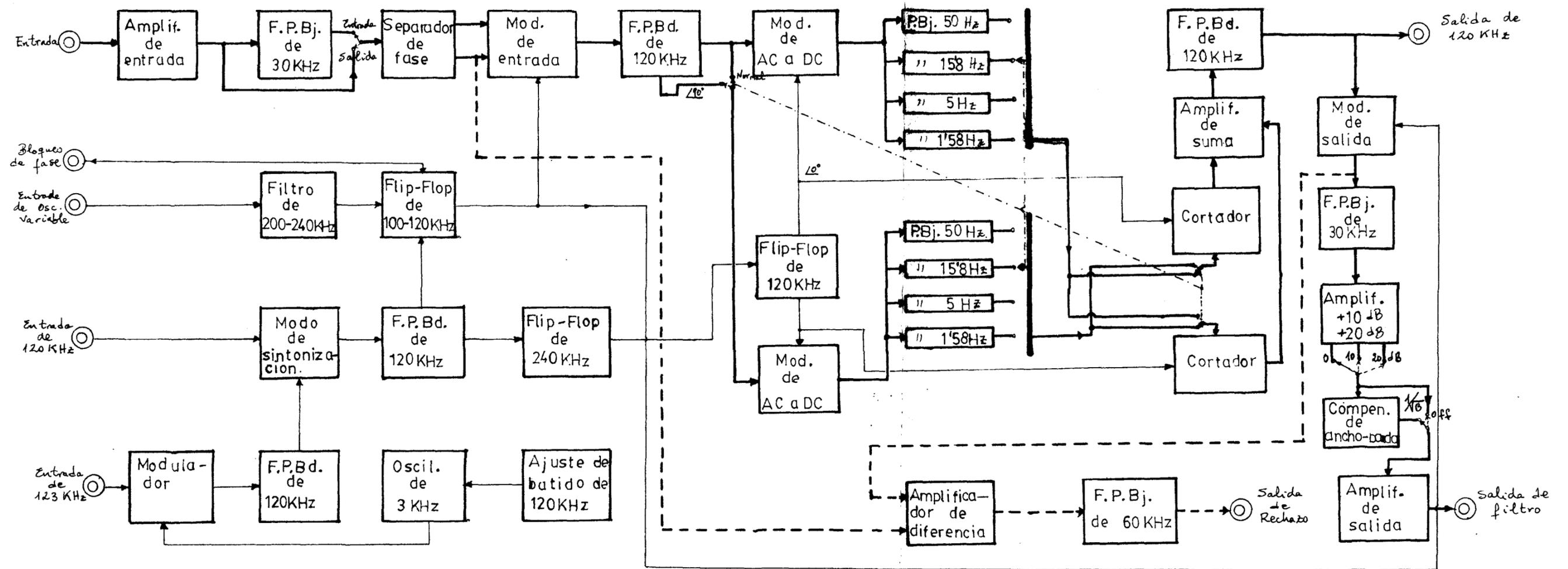
DIAGRAMA DE BLOQUE	PLANO
	Nº3
U.M.D.	



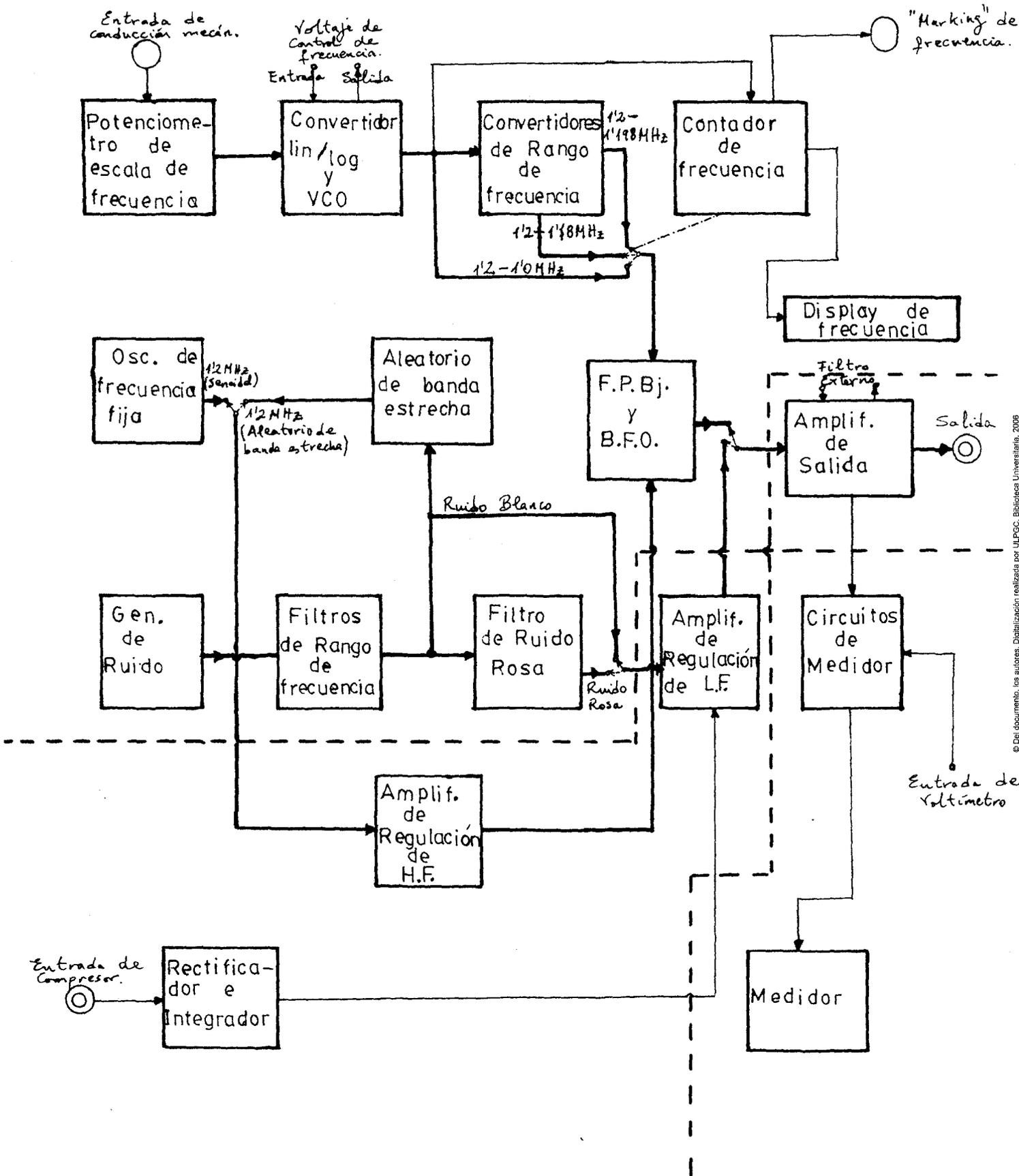
PLANO	Nº 4
DIAGRAMA DE BLOQUE	A.H.



PLANO	Nº 5
DIAGRAMA DE BLOQUE	G.N.

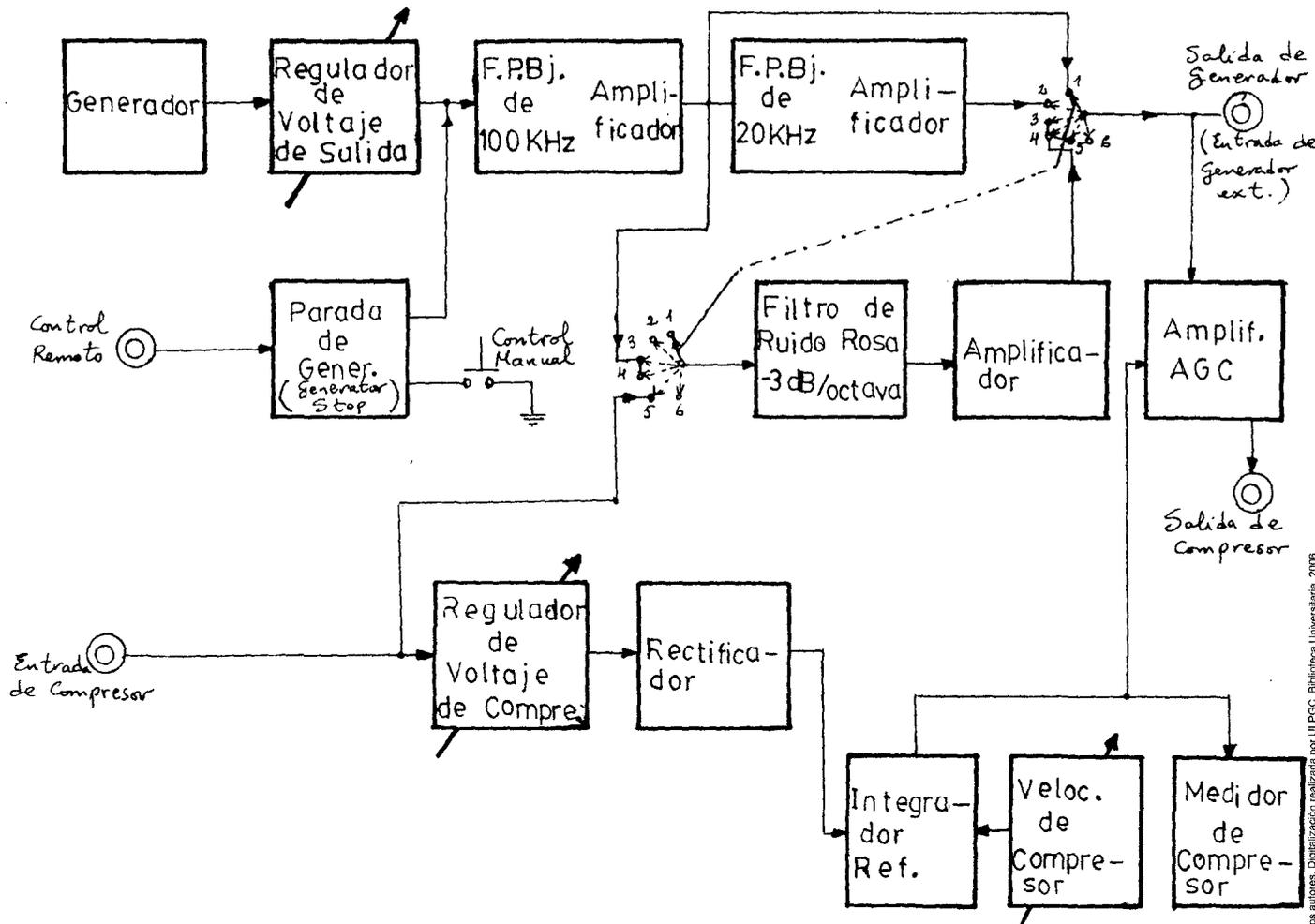


PLANO	Nº 6
DIAGRAMA DE BLOQUE	F.E.H.



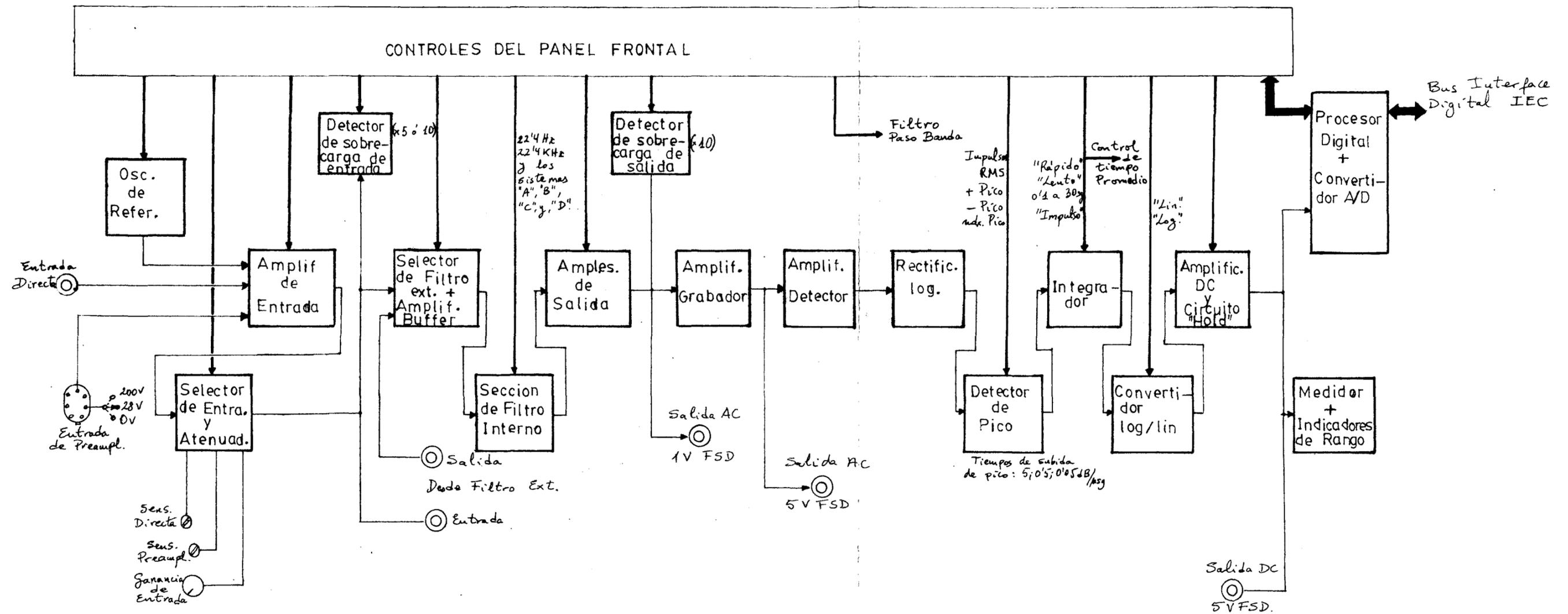
© Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2008

PLANO	Nº 8
DIAGRAMA DE BLOQUE	G.S.A.

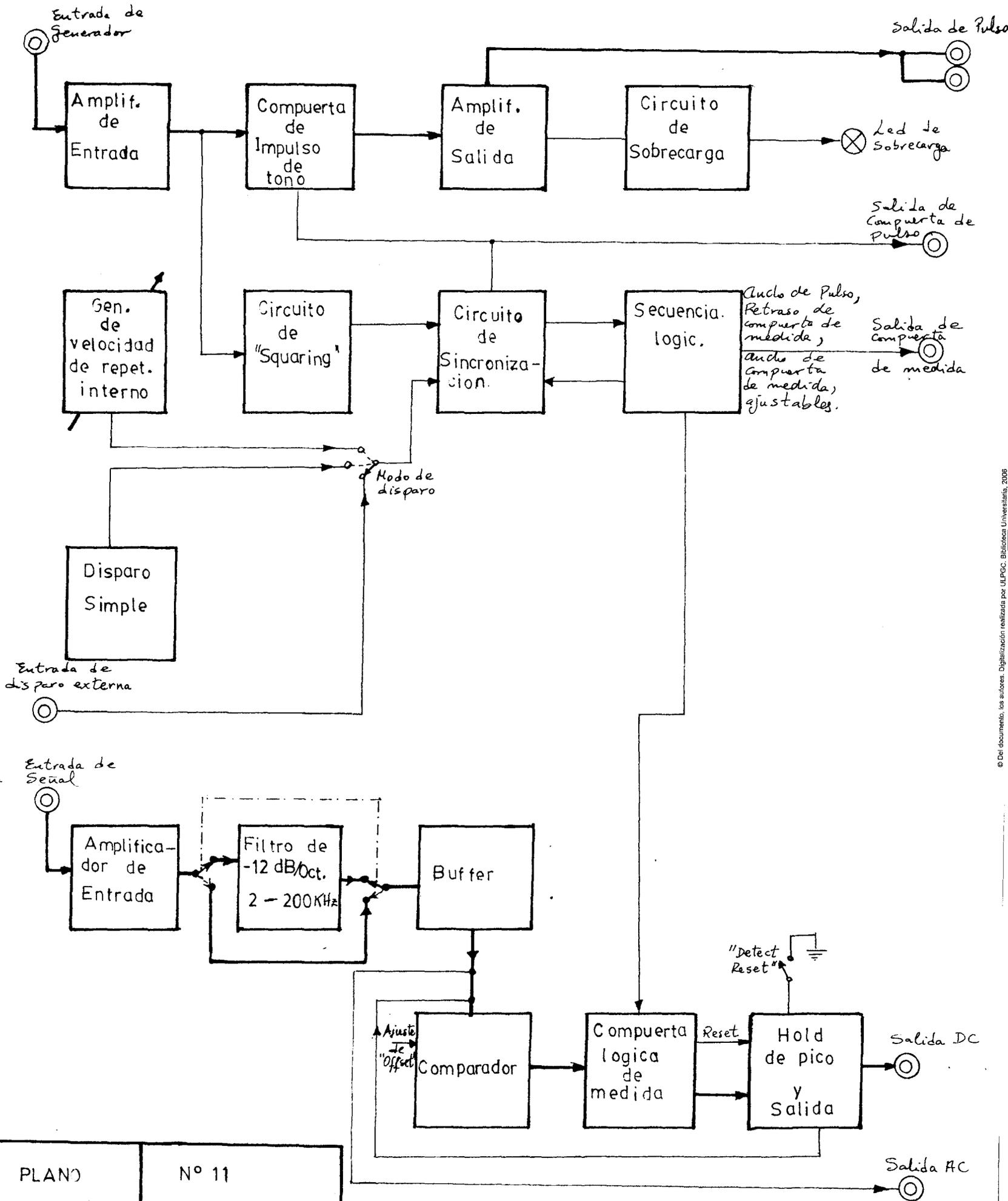


© De documento: los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2008

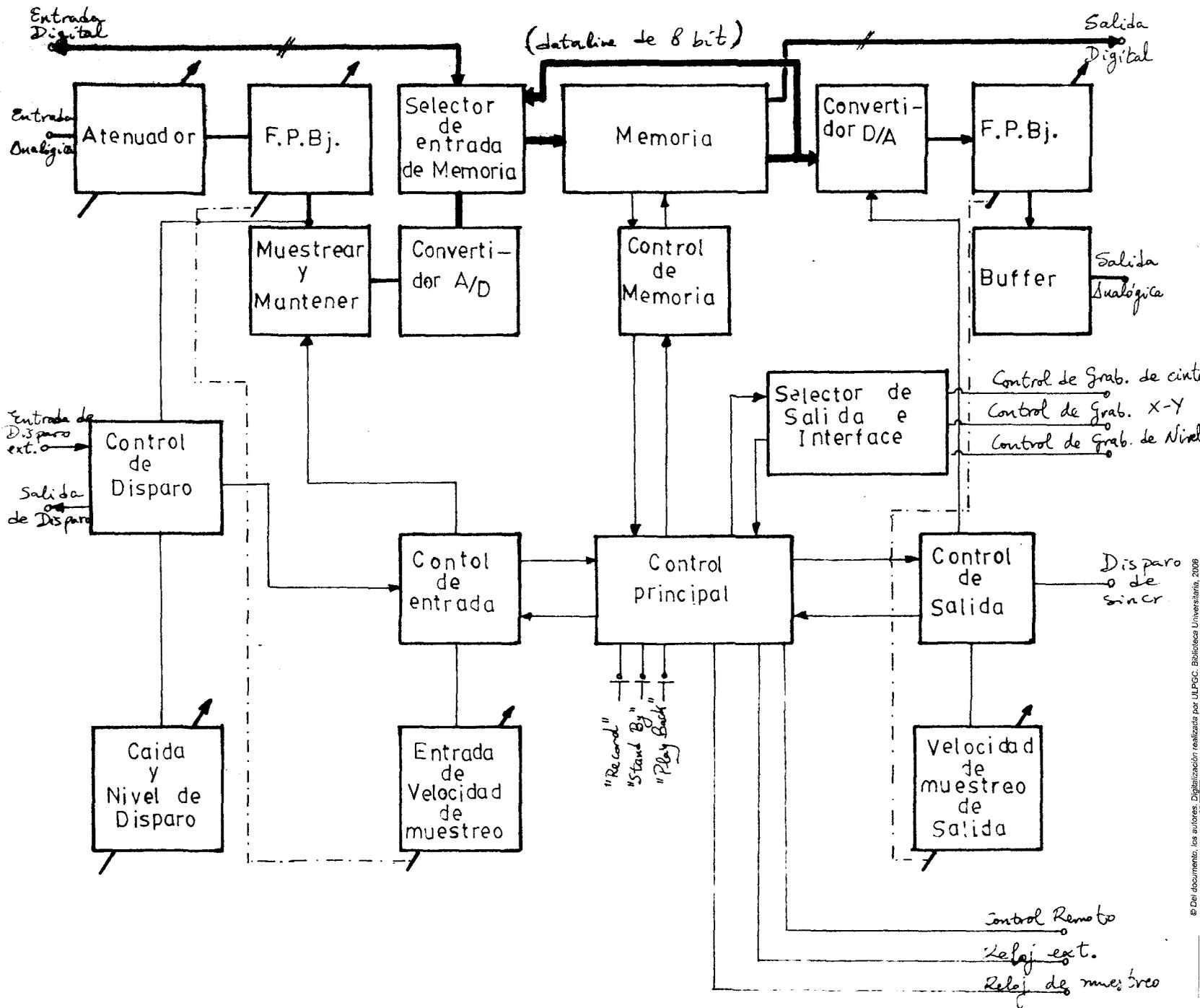
PLANO	Nºg
DIAGRAMA DE BLOQUE	G.R.



PLANO	Nº 10
DIAGRAMA DE BLOQUE	A.M.



PLAN)	Nº 11
DIAGRAMA DE BLOQUE	S.C.



PLANO	Nº 12
DIAGRAMA DE BLOQUE	R.D.S.

VII-. B I B L I O G R A F I A .-

- "Acústica", Tomo I y II. Manuel Recuero López. (Universidad Politécnica de Madrid).

- "Compendio práctico de Acústica". J. Pérez Miñana. (Editorial Labor S.A.).

- "Manual de Alta Fidelidad y Sonido Profesional". (Boixareu Editores, MARCOMBO).

- "Manual de, la Medida del Sonido". (Brüel & Kjaer).

- "Medidas Electroacústicas". Henning Moller. (Brüel & Kjaer).

- "Master Catalogue 1980, electrónic instrument". (Brüel & Kjaer).

- "Mundo electrónico, N°111". A. Tresseras Casadejust. (MARCOMBO).

- "Electro Acoustic free field measurement in ordinary rooms, using gating techniques". (Brüel & Kjaer).

- "Loudspeaker phase measurements transient response an audible quality". Henning Moller. (Brüel & Kjaer).

- "Sweep measurements of harmonic, difference frequency and intermodulation distorsion". Crasten Thomsen y Henning Moller. (Brüel & Kjaer).

"Electroacústica". J.G. Barquero. (Paraninfo).

- "Relevant loudspeaker test in studios in Hi-Fi dealers demo rooms in the home, etc., using 1/3 octave, pink-weighted, random noise". Henning Moller. (Brüel & Kjaer).