

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACION

COMUNICACION AUDIOVISUAL Y PUBLICIDAD I



**Dado de Baja
en la
Biblioteca**

Tesis Doctoral

**VARIABLES ELECTROACUSTICAS
QUE INFLUYEN EN LA PERCEPCION
DE LA IMAGEN AUDITIVA**

Se ha realizado esta tesis doctoral más
de un año de trabajo de investigación
que ha permitido conocer algunas
de las variables que influyen en la
percepción de la imagen auditiva.
El autor desea agradecer a la Biblioteca
de la Universidad Complutense de Madrid
su colaboración en la realización de esta tesis.

Manuel SIGUERO GUERRA

Dirigida por:
Antonio LARA GARCIA

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACION
CALLE DE LOS REYES, 1
28040 MADRID
TEL. 91 379 5100
BIBLIOTECA DE CIENCIAS DE LA INFORMACION
Nº de expediente: T. D. 250

Marzo 1993

A Emilia, Victor y Paula

VARIABLES
ELECTROACUSTICAS
QUE INFLUYEN
EN LA PERCEPCION
DE LA
IMAGEN AUDITIVA

VARIABLES ELECTROACUSTICAS QUE INFLUYEN EN LA PERCEPCION DE LA IMAGEN AUDITIVA.

- I. Introducción y objeto de estudio
- II. Discusión metodológica. Modelo teórico de análisis de variables
 - Conservación de la energía
 - Tratamiento de señales
 - Comunicación acústica
- III. Técnicas y Sistemas de grabación. Evolución y desarrollo
 - Consideraciones técnicas
 - Factores económicos
 - Trasfondo histórico
- IV. Acústica de salas de audición. Variables técnicas y normativa específica
 - Optimización de la sala de escucha
 - Auditorios y salas domésticas
 - Salas cinematográficas y presentaciones audiovisuales
- V. Estudio experimental. Modificación del espacio acústico en función de las variables consideradas.
 - Prototipo experimental. Sistema de procesado de señal
 - Determinación de datos objetivables
 - Selección de sujetos. Audiometría
 - Selección de muestras a incluir en la prueba
 - Condiciones de la sala de escucha
 - Condiciones del sistema de reproducción
 - Discusión de los resultados
- VI. Conclusiones generales
- VII. Bibliografía

INDICE

I. INTRODUCCION Y OBJETO DE ESTUDIO	13
Sistemas de grabación y reproducción	14
Alta Fidelidad de Excepción	15
Procesado de Señales	18
Salas de audición	19
Comunicación Acústica	20
Prototipo electrónico	21
II. MODELO DE ANALISIS DE VARIABLES	24
Proceso de escuchar	25
Estudios científicos	25
Modelos tradicionales	28
Conservación de la energía	28
Modelo estimulo-respuesta	31
Tratamiento de señales	34
El modelo de la comunicación acústica	38
Reciprocidad de información	39
Wolvin y Coakley	41
Condamines	42
Truax	42
Concepto de contexto	43
Concepto de AUDIONOMIA	46
NOTAS	49

III. TECNICAS Y SISTEMAS DE GRABACION	51
Antes del Fonógrafo	53
Fonoautógrafo de Scott	57
Los antecedentes más cercanos. BELL	59
Charles Cross	62
Thomas Alva EDISON	63
Después del Fonógrafo	68
Gramophone	69
Grabación eléctrica	72
Válvulas de vacío	73
Lee DeForest	74
Micrófonos	77
Grabación magnética	79
Pulsen	80
Magnetófono	81
Cintas magnéticas	82
Alta fidelidad	84
Casete	87
Raymond M. Dolby	88
Características técnicas	89
Digital	92
Compact Disc	95
WORM	97
DAT	98
Las nuevas tecnologías: DCC y MD	101

Tabla comparativa analógico - digital	104
Evolución de los sistemas de grabación	105
Estereofónico	110
Sistema ORTF	118
Sistema BLUMLEIN	119
Cuadrafónico	122
Discreto	124
Matricial	126
Sintético	129
Ambifónico	132
Holofónico	136
Pseudo-Estereofonía	140
Método JANOVSKY	142
Estéreo-reverberación	143
Método SCHROEDER	146
Método LAURIDSEN	147
N O T A S	150

IV. ACUSTICA DE SALAS DE AUDICION	157
Referencias históricas	159
Wallace C. SABINE	164
Consideraciones técnicas	168
Espacio acústico	169
Características acústicas	173
Reflexiones	174
Densidad Espectral	175
Reverberación	176
Tiempo de reverberación equivalente	177
Criterios acústicos para palabra	180
Inteligibilidad de la Palabra	182
Pérdida de articulación de consonantes	185
Función de Transferencia de Modulación	186
Índice Rápido de Transmisión de la Palabra	187
Aplicaciones del RASTI	190
Música y acústica	192
Grado de intimidad	194
Grado de viveza	195
Grado de calidez	195
La Acústica y el Compositor	200
El periodo clásico	201
El estilo romántico	202
El siglo XX	203
Acústica de salas de dimensiones reducidas	204

Sala multimedia	206
Ensayo comparativo	207
Geometría de recintos	213
Volkman	217
Louden	218
Materiales	219
Ensayos de Gakki	221
Experimentos psicoacústicos	224
Impresión espacial	225
N O T A S	227

V. ESTUDIO EXPERIMENTAL	230
Impresión espacial	231
Barron	231
Griesinger	232
Objetivo	234
PROTOTIPO EXPERIMENTAL	235
Procesado electrónico digital	236
Prototipo electrónico	237
Lauridsen	238
Relación entre retardo y desfase.	239
Relación entre retardos y frecuencias	239
Figuras reseñadas	242
Circuito	243
Teorema de Nyquist	244

TDA 1022	245
Fig 1	246
Fig 2	247
Fig 3	248
Fig 4	249
Fig 5	250
Fig 6	251
Fig 7	252
Detalle fotográfico	253
DETERMINACION DE VARIABLES	254
Reflexiones laterales	254
Nuestro procesador	255
Esquema	256
Conjunto de variables	257
Variables físicas	259
Variables fisiológicas	260
Variables psicológicas	261
SALA DE AUDICION	263
Dimensiones	263
Frecuencia	264
Reverberación	265
Condiciones climáticas	265
Niveles de presión sonora	266
Situación relativa de los altavoces	267
Localización primaria	268
SELECCION DE FUENTES	269
Relación de fragmentos	270

Parámetros técnicos	271
AUDIOMETRIA	272
Frecuencia de corte	273
Poder separador temporal	275
ENSAYO DE AUDICION	276
Audiófilos	276
Terminología	277
Escala de valoración	279
Objetivo de la prueba	279
Procedimiento	282
Sala de audición (Fotografía)	283
CONCLUSIONES PARCIALES	284
N O T A S	288
VI. CONCLUSIONES	292
VII. BIBLIOGRAFIA	300

CAPITULO I

*INTRODUCCION
Y OBJETO
DE ESTUDIO*

INTRODUCCION Y OBJETO DE ESTUDIO

En el proceso de la grabación y reproducción del sonido intervienen un conjunto de variables electro-acústicas que, desligadas de su componente estético y de matices derivados de la teoría de la información, tienden a organizarse habitualmente a través del modelo elemental de la Audio Ingeniería. El área de influencia de éste modelo termina donde el proceso de transducción de la señal grabada se da por realizado.

El modelo de Comunicación Acústica con el que nosotros vamos a trabajar tiene como objetivo recrear el entorno acústico del instante de la grabación y, por tanto, restituir las ilusiones sonoras de la sala de conciertos trasladándolas a la sala de audición, organizando armónicamente todas estas variables con el fin de optimizar el proceso auditivo. Es en tales elementos inicial y final del proceso, más específicamente acústicos, donde nuestro

modelo comunicacional añade factores de análisis diferenciados respecto a otros modelos más ceñidos a variables técnicas expresamente.

El estudio que presentamos recoge aspectos históricos y técnicos de la evolución de las investigaciones que han decidido el desarrollo de los sistemas de captación, almacenamiento y reproducción de la señal sonora, aunque haciendo la salvedad de que el objetivo no es elaborar un índice exhaustivo de los avances que han incidido, desde la vertiente tecnológica, en los procesos de grabación y reproducción. Si así lo hiciéramos lo que obtendríamos no sería mucho más que una especie de catálogo detallado de marcas comerciales y patentes industriales.

La intención con la que abordamos el estudio es la de resaltar el amplio abanico de posibilidades instrumentales que pueden intervenir en un proceso de carácter electro - acústico, es decir un proceso que integra componentes específicamente eléctricos y electrónicos en simbiosis con otros específicamente acústicos. Como consecuencia intentamos dejar implícito lo evidente que puede llegar a ser, en el plano perceptivo, que una mínima variación de la señal sonora en cualquiera de los pasos del proceso, redunde en una alteración de la imagen auditiva. Esta alteración no implica necesariamente consecuencias negativas, es decir, un empeoramiento del sonido reproducido. Pueden ser positivas, como es el caso de ciertos incrementos de reverberación en sonidos muy apagados, y obtenerse así

una mejora significativa de la definición. Sin embargo, aún en este poco frecuente segundo caso, no dejaría de significar una modificación de la señal original grabada, rompiéndose con ello la garantía de ausencia de manipulación en el proceso de transferencia.

Como respuesta técnica a esta posible, aunque aparentemente inevitable, degradación de la señal original han proliferado sellos discográficos de carácter especializado que anuncian sus grabaciones basándose en un elaborado grado de pureza mantenido estrictamente a lo largo del proceso de ingeniería de audio. Dirigidos específicamente al mundo de los audiófilos - oyentes muy exigentes y enormemente especializados - que se engloban en lo que se ha convenido en llamar "Alta Fidelidad de Excepción", dichas copias discográficas se anuncian en términos publicitarios bajo el eslogan: "Directamente al disco, sin pasos intermedios". Es el caso de las marcas American Gramophone y Scheffield con cuya presentación nos están queriendo indicar la ausencia de los habituales tratamiento y edición de las distintas pistas de sonido en mesa de mezclas durante el proceso de grabación. Otro ejemplo similar sería el eslogan: "Grabación en espacios naturales" de Windhan Hill, sello discográfico que comenzó realizando grabaciones de gran calidad con pocos medios técnicos y muy cuidados, evitando la utilización de determinados procesadores de señal tales como ecualizadores paramétricos

o reverberadores artificiales y buscando un recinto acústico adaptado a cada tipo de instrumento musical.

Siguiendo con el argumento de la fragilidad del proceso no es de extrañar que el paradigma de búsqueda de la fidelidad absoluta, extraído del modelo de la Audio Ingeniería que se analiza en el próximo capítulo, se haya quedado completamente anticuado y haya sido la propia evolución de la tecnología y el modelo de Procesado de Señales, ya vinculado más al tratamiento digital del sonido que al proceso analógico, el que haya tomado la iniciativa.

La ingeniería de audio ya debía saber que partía de presupuestos falsos, o al menos, inalcanzables, cuando hallaba de un proceso transparente al buscar la relación óptima entre el proceso de grabación y el de reproducción. Los teóricos de la psico-acústica se encargan de recordárselo cuando comparan los procesos auditivos en el ser humano observando las diferencias entre la escucha natural y la escucha a través de elementos electroacústicos, ampliamente expresados sobre todo en el proceso de percepción estereofónica.

En la audición normal, o escucha natural de un elemento o conjunto de elementos que emiten sonidos, cada oído recibe tan sólo un haz sonoro o "copia" del sonido directo de la fuente. En la reproducción estereofónica cada oído recibe dos "copias" del sonido original, una emitida desde el

altavoz situado a su derecha y otra, con parámetros ligeramente distintos, desde el altavoz situado a su izquierda. Va a ser esta diferencia fundamental la que va a permitir que dos altavoces separados y estáticos lleguen a crear la ilusión de una imagen auditiva, de anchura y profundidad definidas, cuando se completa el proceso de propagación de las señales amplificadas en un recinto.

Estas observaciones y el estudio pormenorizado de la audición espacial en los diferentes planos perceptivos y el proceso de localización del sonido en el ser humano permitirá a los psicoacústicos considerar que la audición estereofónica es diferente en gran medida a la audición normal (es decir: no a través de elementos electroacústicos) y por tanto catalogarla como no natural, y como consecuencia caracterizarla como una recreación artificial y sometida, ya desde su origen, a importantes modificaciones de la señal que inducen a su vez modificaciones en el campo perceptivo. Dichas variaciones imposibilitan que la transducción que exige el sistema pueda llegar a resultar inapreciable.

Si el resultado final del proceso no puede nunca alcanzar la fidelidad absoluta, vamos a intervenir en este tratamiento intermedio de la señal y, al menos, vamos a intentar mejorar esta "recreación artificial" modificando a voluntad las constantes físicas de amplitud, frecuencia, fase, etc., hasta conseguir que la audición se realice en la forma más efectiva posible, aún

a costa de introducir determinadas codificaciones en el resultado. Con este sencillo razonamiento podríamos simplificar, en términos elementales de percepción auditiva, el paradigma básico del modelo del Procesado de Señales aplicado a la electroacústica. Este modelo será propiciado en gran medida con el importante descubrimiento y rápida asimilación de las técnicas digitales y su desarrollo exponencial en todos los campos, pero sobre todo en el ámbito de las técnicas de grabación y reproducción.

Con la modulación de impulsos codificados (PCM), la más evidente expresión de la técnica digital en el proceso de grabación, apoyada en una drástica renovación del soporte de la señal a través del disco compacto (CD), se reaviva la discusión sobre la infructuosa búsqueda de la fidelidad absoluta, de la transparencia de la tecnología según el modelo de la Audio Ingeniería. Aparecen las polémicas sobre las paradojas tecnológicas basadas en las discusiones entre los defensores de las nuevas tecnologías digitales y los defensores a ultranza de lo analógico (Nos recuerdan a las airadas polémicas entre los detractores y defensores del cine sonoro. Otra irrupción de la tecnología en los templos de los condicionantes estéticos y de las costumbres establecidas).

Por otro lado los estudiosos de la Acústica física y Acústica Arquitectónica, han fijado el conocimiento de los parámetros que intervienen en la transmisión de las señales sonoras en los recintos y salas

de concierto. También se conocen con detalle los elementos que configuran las técnicas de reproducción en función de los volúmenes y materiales que forman parte de la arquitectura de dichas salas. Y los estudios aplicados de la psico-acústica han determinado las constantes que modifican la función auditiva, con gran aproximación.

En el capítulo dedicado a salas de audición estudiaremos estas variables específicamente acústicas que influyen poderosamente en la transmisión de la señal sonora. Algunos de cuyos factores más determinantes, como la geometría del recinto o el tipo de materiales empleados en la decoración, alteran la relación entre sonidos directos y reflejados propiciando modificaciones considerables en aspectos tan importantes como la respuesta en frecuencia de la señal.

El conocimiento analítico de tales cuestiones lo aprovechan los expertos en tratamiento de señales y empleando técnicas digitales desarrollan elementos electrónicos que permitirán alterar todas estas variables para, en definitiva, conseguir el objetivo de ofrecer al oído las sensaciones que va a identificar como más agradables, sin tener en cuenta factores de estricta fidelidad de la señal sonora con respecto a parámetros impuestos por los sistemas de grabación y reproducción o factores de sometimiento a normas obsoletas de percepción auditiva.

Los instrumentos técnicos basados en los diseños digitales que

incorporan procesadores digitales de señal (DSP) están presentes hoy día en cualquiera de los elementos que intervienen en el proceso de grabación y reproducción. Incluso ya en equipos de uso doméstico de nivel medio podemos encontrar elementos de una cadena de alta fidelidad que permiten reproducir una tocata de Bach, simulando los parámetros de reproducción acústica en una catedral, en un club de jazz o en un estadio, obtenidos mediante una sencilla programación.

El modelo de análisis que proponemos en este estudio aprovecha todas estos factores, que iremos viendo en los próximos capítulos, para ponerlos al servicio del individuo y su entorno acústico. Trata de conjugar los elementos técnicos disponibles, los factores acústicos ambientales y determinados parámetros perceptivos para conseguir una adecuada síntesis auditiva que aproveche y organice dichos elementos y permita hacerlos interrelacionar como en cualquier sistema activo. El objetivo es obtener una proporción óptima de utilización, en el medio en el que se lleva a cabo la escucha, de los factores electro - acústicos que podemos modificar en el ámbito de la reproducción sonora.

El modelo de Comunicación Acústica tiene en cuenta estos factores, que ampliaremos más adelante, haciéndolos gravitar sobre el elemento receptor auditivo, que es en definitiva el objetivo fundamental del proceso.

Como parte integrante complementaria de este estudio hemos

diseñado un prototipo electrónico que, partiendo de señales sonoras grabadas por procedimientos convencionales y vehiculadas a través de un sistema de reproducción de dos canales estereofónicos, permite actuar sobre estas señales, multiplicándolas con la intención de conseguir un espectro sonoro de mayor amplitud y versatilidad. Espectro sonoro que conjugado con una adecuada reproducción espacial, en función de la acústica de la sala, nos permitirá optimizar las condiciones habituales de escucha, mejorando los parámetros de percepción de la imagen auditiva.

Este sistema de reproducción está basado en conceptos de electrónica digital, aunque utiliza componentes discretos habituales de la electrónica analógica, semiconductores de estado sólido y circuitos integrados de gran capacidad de conmutación.

Se ha probado exhaustivamente el prototipo en condiciones diferentes de audición, modificando los parámetros tanto electrónicos como acústicos. Hemos variado las amplitudes relativas del sistema de amplificación y de la codificación de los canales trasero, lateral y frontal en sus vertientes derecha e izquierda. Hemos experimentado con las variaciones de la situación espacial del conjunto total de altavoces dentro de los recintos. Hemos llevado a cabo este mismo tipo de ensayo en dos condiciones acústicas muy diferentes: en una sala de audición de tipo medio con una aceptable respuesta en cuanto a espectro de frecuencias y tiempos de

reverberación así como adecuadas condiciones ambientales; también, como ensayo comparativo de interés, hemos experimentado idénticas condiciones del sistema de reproducción y localización espacial de altavoces en la Cámara Anecóica del Instituto de Acústica. Recinto de características muy especiales que cumple con normas internacionales en cuanto a propiedades acústicas de referencia para ensayos de medida y audición que imita las condiciones de campo libre.

De modo simultáneo a la toma de datos técnicos y su interpretación, se han realizado ensayos perceptivos de audición en una población de individuos con gran experiencia y actitud crítica en el proceso de escucha, lo que nos ha permitido estudiar la correlación básica que se establece entre determinados parámetros objetivos y sus valoraciones subjetivas.

CAPITULO II

*MODELOS
DE ANALISIS
DE VARIABLES*

MODELO DE ANALISIS DE VARIABLES

El modelo de análisis que nos va a permitir ordenar el proceso que queremos estudiar es marcadamente técnico y por ello sometido a las reglas de la experimentación práctica más que a comparaciones de carácter teórico. Podríamos utilizar el modelo básico de análisis definido por las leyes de la conservación de la energía - "ni se crea, ni se destruye" - y su concepto fundamental de transformación de una forma de energía en otra. En nuestro caso estaríamos hablando de energía mecano-acústica, expresada en forma de vibraciones sonoras, que se transforma en energía electro-acústica; señales eléctricas que vuelven a ser nuevamente acústicas mediante otro proceso de transducción.

Podríamos examinar también el conjunto de variables que estudiamos, desde la óptica del modelo más reciente de procesado o

tratamiento de señales, estrechamente ligado a la teoría de la información, cuyo testigo tan bien ha sabido recoger la ingeniería de audio y la electroacústica en general.

Sin embargo existe un factor que a nosotros nos interesa de manera fundamental y que estos modelos no recogen, definidos como están para no tener en cuenta el carácter semántico, el significado del mensaje que transmiten en forma de señal eléctrica. Este factor está directamente relacionado con el individuo y la valoración que hace de su entorno sonoro, precisamente basada en una adecuada presentación de dichos mensajes, optimizando los factores que influyen en su audición e interpretación.

Consideramos fundamental el proceso de escuchar y creemos que el individuo puede modificar la percepción de su entorno sonoro próximo en función, también, de la disposición del conjunto de variables técnicas (electro-acústicas) que intervienen en el proceso de la escucha.

Por ello utilizaremos el modelo de la comunicación acústica propuesto por TRUAX ¹ que valora estos factores. No así la idea de contexto, como veremos después, puesto que vamos a tratar con señales reproducidas por medios técnicos y en lugares acondicionados para esta función y por tanto es imposible mantener, en la mayor parte de los casos, una correspondencia contextual entre lo grabado y lo transmitido.

Se puede deducir que, en gran medida, los estudios científicos

relacionados con la comunicación se plantean desde una perspectiva lingüística, o desde el ángulo de la semiología y la proxémica y casi siempre basados en fenómenos cognitivos sobre todo visuales. El proceso de radiación y propagación del sonido, sin embargo, no suele considerarse más que de forma periférica, casi podríamos decir marginal, como una característica de referencia obligada en los estudios cualitativos del habla, la voz y la palabra por un lado, o los referidos a estudios cuantitativos relacionados con la teoría de la información en otro.

La intención de este estudio es por el contrario, utilizar como eje principal el sonido, la acústica psico-fisiológica y su entorno: su emisión, transmisión, audición, y percepción entendidos según el esquema más elemental del modelo básico de la comunicación en su vertiente acústica, basándonos en el uso y organización adecuados de las variables que intervienen en el proceso.

Si consideramos que las cualidades inherentes a cualquier sonido y a su percepción se pueden expresar tanto en términos físicos como psicoacústicos, comunicacionales, etc., es indispensable recurrir de forma conjunta a varias disciplinas (acústica, psicoacústica, teoría de la comunicación, etc.). Esta concurrencia de puntos de vista de diversos campos y, en consecuencia, de distintos tipos de variables técnicas y de análisis diferentes, plantea algunas dificultades de tipo metodológico, pero,

a cambio, ofrece la garantía de una interpretación más certera al conjugar y tratar de correlacionar la precisión de las medidas objetivas y las valoraciones de las sensaciones subjetivas.

La ingeniería y la arquitectura, la medicina y las artes son las disciplinas tradicionales que estudian el sonido, su influencia en el ser humano y en el medio ambiente. Cada una de ellas se ha especializado en aspectos parciales ligeramente relacionados, ha desarrollado sus propios conceptos salpicados de gran número de ideas abstractas y ha establecido su propia terminología a fin de concretar tales conceptos.

Estas disciplinas que en cierta medida utilizan la acústica como base fundamental de sus estudios relacionados con el sonido, no han hecho hasta ahora ningún esfuerzo por establecer paradigmas comunes en ninguno de sus campos de estudio, pudiéndose constatar una clara tendencia a la superespecialización. Las investigaciones orientadas al ámbito del medio ambiente se presentan en su mayoría idealizadas debido a seguir el método científico tradicional, por el que los fenómenos observados se aíslan de otras variables que pueden complicarlos. Sin embargo, en el mundo contemporáneo, la mayoría de los problemas sobre los que se plantea un estudio están envueltos en complejas interacciones que se presentan a diferentes niveles pero de manera simultánea.

Los modelos tradicionales que estudian el sonido pueden ser reducidos a tres fundamentalmente:

- CONSERVACION DE LA ENERGIA.
- ESTIMULO - RESPUESTA.
- TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.

EL MODELO DE LA CONSERVACION DE LA ENERGIA

Trata este modelo de caracterizar el comportamiento acústico de una cadena de transformaciones de diferentes tipos de energía. Su estudio comprende desde la fuente o emisor del sonido hasta el receptor. Examina el modo en que suceden estas transferencias, cual es el grado de eficacia del proceso y que tipo de variables pueden llegar a afectarlo y por tanto a modificarlo en alguna medida. En definitiva caracterizar la transformación.

El origen de esta energía es el movimiento mecánico de ida y vuelta que inicia un objeto al abandonar su estado inicial de reposo y que, un determinado número de veces por segundo, emite al aire las vibraciones que produce o las transmite a través de cualquier objeto con el que

mantenga algún tipo de contacto. El ejemplo más característico es un objeto vibrante conocido por todos como es el diapasón. Al golpearlo sus varillas inician la vibración y al mantenerlo en el aire puede llegar a escucharse, aunque débilmente. Este mismo diapasón si se golpea y de inmediato se pone en contacto con una superficie amplia como puede ser una mesa, la vibración es amplificada hasta llegar a ser claramente audible por un oído normal. Una cuerda de acero o una membrana siguen exactamente el mismo esquema oscilatorio, siendo la razón por la que nos las encontramos siempre asociadas a una caja de madera o metal.

La energía mecánica que ha sido radiada desde la fuente, se transmite a través del aire o de cualquier otro medio de propagación, normalmente agua, metal o madera, con una velocidad que depende de la densidad del medio además de otras características físicas como pueden ser la humedad y la temperatura. Un medio denso, donde las moléculas están muy juntas (metal o madera), permitirá desplazamientos más rápidos. Para el caso de la temperatura en el medio aéreo, la velocidad del sonido en una masa de aire caliente es mayor que en aire frío.

En este proceso de propagación la energía acústica se encuentra con otros cuerpos y materiales que la modifican parcialmente, bien reflejándola o absorbiéndola, o captándola al llegar al oído. En este caso el sonido pasa a ser objeto de estudio de la acústica fisiológica que examina la cadena de

transferencia de energía de la onda sonora transmitida por el oído externo, vía conducto auditivo, a los huesecillos (martillo, yunque y estribo) del oído medio. En este caso se produce una transferencia de energía de un medio aire a un medio sólido más denso, y entramos en lo que se denomina órgano de la audición, en el que no vamos a detenernos más que para nombrar las partes a través de las que se transmite la energía:

sonido - conducto auditivo - tímpano -huesecillos - ventana oval - canal coclear - membrana basilar - órgano de Corti - nervio auditivo - cerebro.

Por lo que se conoce, en esta última parte del sistema, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica y a través del nervio auditivo transmite los impulsos codificados al cerebro.

MODELO ESTIMULO-RESPUESTA

Para analizar el proceso de la audición (ondas sonoras - sistema auditivo - información para el cerebro) se utilizó el modelo de estímulo-respuesta desarrollado en el siglo XIX por los psicofísicos.

El análisis de las ondas sonoras que se transmiten por el sistema auditivo se lleva a cabo mediante el estudio de frecuencias e intensidades y su relación expresada en términos de distribución espectral de energía del sonido (espectro sonoro). Paralelamente se realizaban test de audición buscando descifrar, a partir del análisis de las valoraciones de los individuos, una correspondencia entre ambos términos.

Los primeros ensayos los llevaron a cabo los, hoy denominados, psicofísicos FECHNER ² y WEBER , intentando comprender como elaboraba el cerebro las impresiones subjetivas que nos permiten reconocer sonidos y toda la información que nos proporcionan. Se descubrió que había una relación logarítmica, que se repetía sistemáticamente, entre la magnitud de los estímulos y la respuesta subjetiva.

Este principio generó nuevos conceptos e ideas:

- 1- Permitted que se pudieran caracterizar las reacciones subjetivas y que

pudieran graduarse en escalas que después permitieran estudios científicos.

2- Permitió extender el concepto de transferencia de energía al dominio de las experiencias individuales, repetibles, tratándo como estímulo las señales acústicas con dimensiones o parámetros objetivos. Estas señales pueden compararse con las correspondientes dimensiones obtenidas de la respuesta subjetiva.

La evolución de estas teorías lleva a interrogaciones científicas sobre interesantes aspectos relacionados con estos parámetros. Por ejemplo:

. Cuantificar la magnitud del cambio subjetivo que produce la propagación de una onda sonora que produce el mínimo estímulo objetivo: JND (Just Noticeable Difference).

. Cuales son las características acústicas de un estímulo objetivo, por ejemplo un tono puro repetido o dos tonos de frecuencias diferentes, que llegan a producir una sensación sencilla o doble.

. Experimentos de enmascaramiento determinan las condiciones en las que un sonido, dependiendo de la frecuencia y de la intensidad, hace imposible escuchar otro simultáneo; aunque investigaciones recientes están demostrando que una adecuada utilización de los procesos de enmascaramiento permiten disminuir la cantidad de información requerida por los algoritmos de digitalización de señales.

. Si la relación que se establece entre el estímulo y la respuesta sigue una

ley de formación lineal o logarítmica.

. El estudio de la variable temporal llevó a definir cuanto tiempo debe transcurrir entre la emisión de dos sonidos para percibirlos separados.

La contestación a todas estas interrogantes llevaron a la moderna distinción científica entre parámetros acústicos objetivos:

FRECUENCIA - ESTRUCTURA ARMONICA - INTENSIDAD

y sus correspondientes parámetros psicoacústicos subjetivos:

TONO - TIMBRE - SONORIDAD

Aunque en general se admitía que el proceso perceptivo era un proceso individual y marcadamente personal, las experiencias científicamente programadas están demostrando sin embargo que una gran cantidad de sujetos, aunque tengan distintas características individuales, ofrecen respuestas idénticas o concordantes a ciertos estímulos sensoriales. Esto ha conducido a la normalización de algunas de estas respuestas que son, por tanto, predecibles. Se cumple así la correlación entre variables objetivas y valoraciones subjetivas que busca la psico-física.

EL MODELO DE TRATAMIENTO DE SEÑALES

El estudio formal del sonido se hace, básicamente, desde la perspectiva del modelo tradicional de transferencia de energía que, debido a los constantes avances tecnológicos de éste siglo, ha derivado hacia la ingeniería electroacústica (audio-ingeniería) y a su vez, de manera lógica, sobre todo desde el desarrollo de las técnicas digitales, hacia el procesado de la señal de audio.

Mediante las técnicas y transformaciones pertinentes la ingeniería electroacústica mantiene el sistema básico de transferencias o transducciones del modelo de conservación de la energía. Este proceso comprende, básicamente, desde la captación de energía acústica en su forma física, es decir la onda sonora, hasta el final de la cadena que desemboca en los distintos soportes que almacenan la señal audio, y la consiguiente transformación en energía acústica de nuevo, a través del sistema de amplificación y altavoces.

Quizás sea el término "electroacústica" el que mejor explique la naturaleza de la ingeniería de audio que no consiste más que en la eficaz aplicación de la tecnología eléctrica y electrónica al procesado o síntesis del

sonido mediante los sistemas de grabación y reproducción. Aunque la clara evolución cibernética de éstos sistemas parezca indicar que lo que se busca, en definitiva, sea la generación electrónica de sonido sin contar con una fuente acústica original.

El proceso permite a continuación codificar y modular la señal de audio y transmitirla a distancia a través de ondas electromagnéticas, de manera instantánea. Aunque aquí ya estaríamos hablando de un nuevo y diferente tratamiento de la señal, es decir, otra energía y otro proceso de transferencia. Por lo general se acepta que el proceso electroacústico acaba con la conversión de la señal eléctrica inicial en señal acústica, que se hace audible a través del sistema de reproducción.

El modelo del procesado de señales intenta que en éste sistema electroacústico, la linealidad entre la entrada y la salida resulte esencial. La señal que se presenta al final del proceso debe ser lo más análoga posible a la señal inicial. La transducción permite restituir la onda sonora emitida, así como transmitirla por vía electromagnética (TV, radio, etc.); almacenarla en distintos soportes, además de en el intermedio poder mezclarla, añadir efectos electrónicos y en definitiva manipularla; aunque el modelo de procesado de señal opere bajo un principio de neutralidad y busque la transparencia o, si se quiere, el menor grado de manipulación.

En teoría lo que se intenta es reproducir la señal original con

fidelidad óptima y todos los métodos de evaluación, tanto de resultados como de cualquier etapa del proceso intermedio, van a depender de la medida de la calidad de la señal que es capaz de restituir el sistema, o mejor dicho de la relación entre la forma de onda inicial y la onda procesada (en términos técnicos es la evaluación de la función de transferencia). El análisis de dichas formas de onda, o su relación, el procedimiento, el instrumental que se utiliza, incluso las pautas del proceso en el ámbito de las constantes medio ambientales (presión atmosférica, humedad relativa del aire y temperatura ambiental), se llevan a cabo según unas normas establecidas de rango internacional (ISO = International Standard Organization; UNE = Una Norma Española).

Hemos dicho que el objetivo del sistema es conseguir un grado óptimo de fidelidad entre las señales de entrada y salida, es decir, hacerlas indistinguibles, al menos idealmente. Sin embargo la fidelidad perfecta, por supuesto, es imposible de conseguir técnicamente a causa de que cada etapa del proceso de transferencia de la señal añade, inevitablemente, ruido o distorsión a esta señal. (Más o menos perceptible en función del sistema de reproducción que se utilice). Por esto, para satisfacción de fabricantes y vendedores de audio-tecnología, el argumento de la promesa de fidelidad (Hi-Fi) resulta inalcanzable, porque no es medible ni tiene límites, y por esta razón es un argumento seguro e incuestionable. Aunque la realidad es

que la tecnología de los sistemas de grabación y reproducción, a nivel de consumidor final, ha terminado por convertirse en algo casi vital, difícil de lo que prescindir, con fuertes consecuencias de tipo psicológico, motivadas por la publicidad omnipresente y todas las implicaciones que conlleva de relaciones sociales.

Observando el fenómeno desde otro punto de vista, resultaría en parte paradójico que la auténtica fidelidad llegara a ser alcanzable, puesto que en ese hipotético caso la tecnología no llegaría a ponerse de manifiesto, convirtiéndose en un proceso transparente. Es decir no podría verse intervención tecnológica alguna si no se midieran diferencias entre las señales de entrada y salida.

Sin embargo, como veremos más adelante, las señales sonoras y los sistemas desarrollados por la ingeniería de audio, no son las únicas variables que intervienen en el proceso de la percepción auditiva.

EL MODELO DE LA COMUNICACION ACUSTICA

El camino recorrido por las teorías que conducen hacia este modelo de análisis es muy corto, porque la conciencia crítica que las ha desarrollado es muy reciente. Tiene mucho que ver con la idea de mundo que provoca la observación de la naturaleza y, como consecuencia, darse cuenta de las complejas interrelaciones que en ella se dan. Extrapolando todo ello al ser humano y su entorno próximo, surge la conciencia medio ambiental y dentro de ella el entorno sonoro es uno de los elementos de análisis más evidentes, desde nuestro punto de vista.

Es notorio el evidente desarrollo que los estudios relacionados con el medio ambiente y la ecología han tenido estos últimos años. Muy pocos, sin embargo, han estado directamente relacionados con la acústica ambiental; y cuando lo han estado ha sido para tratar el espacio sonoro "no deseado", es decir, el ruido. Sin embargo el ruido no es más que una porción del medio ambiente acústico que nos rodea y con el cual estamos obligados a mantener una continua y estrecha relación.

Trataremos entonces en este estudio de analizar preferentemente algunos aspectos de los sonidos más "deseados" de nuestro entorno como

son los implicados en el proceso comunicativo, sobre todo los que se expresan mediante la palabra y la música.

En el modelo de comunicación acústica dejaremos de utilizar algunos de los términos empleados en el modelo de transferencia de energía o en el de procesado de señales en los que, como hemos dicho anteriormente, el sonido queda aislado del proceso de aprendizaje y conocimiento en el que también está incluido: quizá para simplificarlo y así analizarlo por separado con idea de comprenderlo mejor, pero lo que sucede realmente es que deja de ser un proceso completo. Nosotros analizaremos el entorno sonoro como un todo homogéneo que interacciona y cuyas variables técnicas modifican los esquemas perceptivos que, a su vez, inducen a modificar las variables.

Simplificando podríamos decir que nuestro modelo de análisis trata de intercambio o reciprocidad de información entre el individuo en actitud de escuchar y el conjunto de variables que configura el sistema de emisión o reproducción de sonido, incluyendo el entorno acústico que lo comprende y en el que se manifiesta. Esquema que utilizaremos como alternativa a los procesos de transferencia y conservación de la energía o los más recientes de tratamiento de señales.

El órgano de la audición permanece activo durante toda la vida, día y noche, en el sueño y en la vigilia, incluso en la época prenatal. Es un

órgano fundamental porque cumple una función de alerta, que se incrementa notablemente y de forma instantánea cuando el órgano de la visión queda eliminado. Sin embargo para el modelo comunicacional que proponemos, la actitud de OIR es un proceso eminentemente pasivo, que se corresponde con la etapa final de recepción en el modelo lineal energético, o lo que es lo mismo, el procesado de la energía acústica en forma de ondas sonoras y vibraciones mecánicas.

Frente a la actitud pasiva de oír, ESCUCHAR es la actividad atenta fundamental del modelo de la comunicación acústica: Es un proceso que comprende la recepción, la selección y la asignación de significado a los estímulos auditivos. Según palabras de Truax: "Procesado de información sonora potencialmente significativa utilizada por el cerebro"(Op.cit.p.16).

En el caso de la palabra tendría relación con determinado grado de inteligibilidad y la comprensión del mensaje. En el caso de la música sería la combinación de dos factores: uno objetivo relacionado con la definición y la fidelidad de la obra; y otro subjetivo que valoraría la sensación producida por el mensaje musical escuchado. Sin hacer ningún tipo de distinción entre sonido escuchado en una representación en vivo o a través de una reproducción.

Veamos cada uno de los elementos por separado. Nuestro sistema auditivo como encargado de la recepción del mensaje sonoro, según hemos

dicho, se encuentra permanentemente activo formando parte de nuestra biología natural. La audición puede tener distintas connotaciones según la actitud que muestre el individuo ante los diferentes mensajes.

Wolvin y Coakley (1978, p. 318) proponen su modelo de escucha basándose en el proceso básico de la comunicación y definen hasta cinco tipos diferentes de escucha en función del grado de acercamiento o atención, concentración y evaluación que lleva a cabo el individuo expuesto a la recepción de un estímulo sonoro:

Apreciativa

Discriminativa

Comprensiva

Terapéutica

Crítica

Aunque analizan exhaustivamente cada uno de los tipos definidos, su estudio se centra sobre todo en mensajes sonoros en los que predomina la palabra; en contextos de intercambio de información interpersonal cara a cara o teledifundidos, pero expresados a través de conversaciones o discursos mediante la voz y articulados fonéticamente, con pocas referencias a otro tipo de mensajes sonoros de nuestro entorno.

Desde otro punto de vista más técnico, y por tanto más cercano a nuestro estudio, nos encontramos con la clasificación que hace Condamines

de los procesos de audición y escucha. En su tratado sobre el relieve sonoro y la estereofonía (CONDAMINES, 78, p. 17) propone cinco tipos diferentes de escucha:

Natural

Artificial

Técnica

Estética

Lúdica

Estas definiciones apuntan hacia un espacio sonoro mucho menos restringido que el de Wolvin, y está hecha más que desde el análisis del comportamiento del individuo, desde la predisposición atenta a escuchar en función del tipo de sonido o el carácter que imprimen según la fuente que los produce. Los mecanismos perceptivos que se ponen en marcha son diferentes según nos dispongamos a escuchar el sonido de un motor para detectar una avería, un concierto para oboe y orquesta en un auditorio o un debate radiofónico.

Truax propone (op. cit. p. 19) dos tipos fundamentales de escucha - activa y pasiva - que identifica con la actitud del individuo en un entorno sonoro que no conoce y del que puede recibir información (activa), y la actitud ante señales sonoras que reconoce y por tanto son redundantes al no transmitirle información (pasiva).

El proceso de escucha al que nos vamos a referir, está directamente relacionado con la escucha activa de Truax, puesto que nos disponemos a recibir información - palabra y música - no redundante. Recoge aspectos de la escucha estética de Condamines, en ocasiones técnica y en ocasiones lúdica según los planteamientos iniciales de la audición y los objetivos que nos marquemos. Y por último podemos definirla como escucha crítica, según el término empleado por Wolvin, puesto que incluye de modo simultáneo los parámetros: atención, comprensión y evaluación, presentes en esta *audición selectiva* que propone el modelo.

Otro de los apartados del enunciado, la asignación de significado, es una actitud cultural y forma parte de un proceso cognitivo que se desarrolla en el cerebro y que nosotros tendremos en cuenta únicamente en un análisis comparativo entre las distintas variables que configuran el sistema. Este análisis respondería a una búsqueda de la correlación entre las variables objetivas y las valoraciones subjetivas.

El modelo de la Comunicación Acústica de Truax hace hincapié en el concepto de contexto, intentando mantener una correspondencia entre los aspectos ambientales, sociales y culturales de los sonidos originales y los sonidos reproducidos. Desde su punto de vista "es a través del contexto como comprendemos la función de un hecho sonoro" y "...los sonidos no sólo reflejan el contexto social y geográfico sino que refuerzan la identidad

y la cohesión de una comunidad". Pero Truax se está refiriendo a un proceso comunicativo ideal, parcialmente desvinculado de los adelantos tecnológicos relacionados con la grabación y reproducción electrónica de los hechos sonoros a los que alude. Efectivamente, antes de la audio-tecnología ningún sonido podía escucharse dos veces (al menos exactamente el mismo), ningún sonido podía oírse desvinculado de su contexto original. Ahora, sin embargo, es lo habitual. Los actos culturales, las bellas artes, el teatro, la música, el acontecer en general están sometidos a procesos en los que dichos sucesos se graban, editan, transmiten y reproducen indefinidamente. Los medios de comunicación actuales, poderosos y omnipresentes, se encargan de difundir todo tipo de mensajes audiovisuales que, en un porcentaje elevadísimo, se captan, se escuchan, se comparan y se interpretan en un entorno absolutamente desvinculado del contexto en el que se produjeron.

Por otro lado el modelo de la comunicación acústica no trata de buscar una correspondencia entre cadenas lineales de energía o procesos de transferencia de señal, sino de SISTEMAS de elementos técnicos y valoraciones subjetivas relacionados, operando a diferentes niveles pero simultáneamente. Cualquier diccionario nos ofrece una definición ajustada de sistema : Conjunto ordenado de normas y procedimientos que se mueven actúan u obran coordinadamente.

Definiéndolo a través del modelo comunicacional pueden establecerse criterios útiles de organización del entorno sonoro, con el objetivo de que lleguen al individuo los estímulos deseados y no el ruido indeseado, o al menos en cantidades tales que no perturben a los deseados o creen molestias indebidas. También permitirá alterar las variables electro - acústicas con objeto de adaptarlas armónicamente y conseguir así que se desarrolle la audición en la forma más conveniente.

Este tipo de proceso organizativo busca modificar las interrelaciones funcionales en el sistema Oyente - Entorno sonoro. Que el oyente elija modificar la forma en la que se produce la escucha.

Para articular este enfoque proponemos agrupar las variables que estudiaremos - sistemas de grabación y reproducción y acústica de salas de audición - así como su tratamiento y relación, en torno a la expresión *audionomía* , que intentaremos explicar a continuación.

AUDIONOMIA

La audionomía es organización. Etimológicamente provendría del latín AUDI = oír, escuchar y del griego NOMIA = orden, norma y su significado sería: disposición ordenada de los elementos relativos al audio, es decir, los elementos relativos al sonido y su audición, a través del proceso de escucha.

El conocimiento de los límites de las variables que intervienen en el proceso de audición nos permitirá aprovechar mejor las características del medio donde se va a producir el hecho sonoro o la representación audiovisual. Este conjunto de conocimientos podría articularse de forma que agrupara los estudios científicos de las diferentes disciplinas que aportan sus enfoques particulares en este proceso y que tiene como destinatario al individuo y su medio ambiente sonoro. La ingeniería acústica, la psicología de la percepción, las ciencias de la Comunicación y la arquitectura en su vertiente de diseño de recintos destinado a la audición, permitirán integrar distintos enfoques con un único objetivo: el análisis comunicacional del entorno acústico.

De modo paralelo a lo que la ergonomía lleva a cabo en otro campo

diferente al que ahora se propone, la audionomía podría integrar los múltiples y deslabazados estudios cualitativos y cuantitativos que sobre el individuo, la escucha y su entorno acústico se llevan a cabo en el ámbito restringido de las disciplinas aludidas.

Si la ergonomía busca reunir una serie de conocimientos para tratar de adaptar las máquinas y sus procesos al hombre en cuanto potencial individuo trabajador, la audionomía intentaría aglutinar los conocimientos de la tecnología y la arquitectura, la audio ingeniería y la psicología organizándolos a través de la Comunicación Acústica para tratar de optimizar el proceso de escucha.

Sería el estudio del entorno acústico donde se lleve a cabo la reproducción sonora, o representación audiovisual; el estudio de las condiciones de espacialidad, situación y adaptación al entorno acústico; y el estudio de la eficiencia que podemos obtener del conjunto de elementos que intervienen.

Una reproducción sonora o representación audiovisual que está presente en muchos entornos diferentes, circunscritos no sólo al ámbito doméstico, sino también al institucional o al ámbito comercial e industrial. Expresadas no sólo a través de la acústica de alta fidelidad y los sistemas Audio-Video convencionales. También a través salas cinematográficas, salones de actos, ámbitos culturales no específicamente audio-visuales como

museos y galerías de exposición, representaciones teatrales. Podemos pensar además en otros ámbitos que no pertenecen a estas categorías como pueden ser almacenes de comercio, recintos religiosos con un posible uso musical alternativo y, por poner un ejemplo en auge de la aplicación de nuevas tecnologías, salas multimedia para teleconferencias.

La audionomía, vista desde la perspectiva de la teoría básica de la comunicación, podríamos definirla como el eslabón intermedio entre el emisor y el receptor. Se encargaría de adaptar el medio con intención de aprovechar con eficacia las características de los elementos que lo integran hasta conseguir una imagen auditiva ideal.

NOTAS

1. Barry TRUAX es comunicólogo y compositor de origen canadiense dedicado a la enseñanza de la Acústica Ambiental durante años en la Universidad "Simon Fraser". Participó intensamente en el estudio de alcance internacional denominado "World Soundscape Project", dirigido por R. Murray SCHAFER a finales de los años setenta.


Truax editó un valioso diccionario de términos acústicos "Handbook For Acoustic Ecology" en el año 1978, así como algunos de los estudios que se llevaron a cabo en el proyecto citado, que abarcaron gran parte de Canadá y algunos países de Europa.

En el año 1984, Truax publica su libro: "Acoustic Communication" donde desarrolla una de las teorías en que se apoya el presente estudio.

2. En la segunda mitad del siglo XIX, G.T. Fechner y E.H. Weber eran profesores de física en la Universidad de Leipzig, siendo ambos médicos y filósofos a la vez. Sus investigaciones apuntaban a conocer y medir las correlaciones que pensaban se establecían entre las magnitudes físicas y las sensaciones psicológicas. Descubrieron que la sensación era proporcional al logaritmo de la excitación (más tarde denominada "estímulo"). Sus teorías quedaron plasmadas en un libro que Fechner publicó en el año 1860 titulado "Elementos de Psicofísica" y en una ley que lleva el nombre de ambos científicos: Ley de Fechner - Weber. Cuestionada en la actualidad.



CAPITULO III



*SISTEMAS
DE GRABACION
Y REPRODUCCION*

TECNICAS Y SISTEMAS DE GRABACION

Desde la invención del fonógrafo a finales del siglo pasado hasta su más reciente innovación con el desarrollo de la grabación digital, mediante la técnica de modulación por codificación de impulsos, y sus más claros exponentes el CD (Compact Disc) y el DAT (Digital Audio Tape), las técnicas y los sistemas que han ido surgiendo con el objetivo de conseguir captar, almacenar y reproducir a voluntad cualquier tipo de señal sonora, tanto natural como artificial o sintetizada, han estado en continua transformación buscando siempre recrear con exactitud la sensación producida por una audición real en el proceso de escucha.

En una reflexión más detenida sobre la idea de sistema a la que nos estamos refiriendo, podemos observar que previamente al concepto: "Conjunto ordenado de normas y procedimientos acerca de determinada

materia" ³, nos encontramos en primer lugar con el conjunto de elementos técnicos, inherentes al sistema, que se han ido descubriendo y adaptando hasta configurarlo y cuya evolución es interesante estudiar.

En principio, dado su carácter de invento, la historia de la grabación sonora tiene que ser dividida necesariamente en dos épocas, o mejor dicho, en un antes y un después. El antes es la época de los sonidos naturales que, una vez eran emitidos, se transmitían, eran escuchados o no y desaparecían al extinguirse la energía que los generaba. El después es el nacimiento material del procedimiento que permitía que los sonidos dejaran de tener la condición de efímeros para poder ser conservados y reproducidos a voluntad. Es el nacimiento de la grabación sonora desde que en el año 1877 se presentara una patente desarrollada por un inventor americano que se convirtió en un dispositivo que ha venido influyendo, de un modo u otro, en las vidas de un cada vez mayor número de personas. Dicho invento conservaba el sonido en un cilindro recubierto de una ligera capa de cera, y por similar procedimiento al de la grabación, lo reproducía. El nombre de dicho inventor era Thomas Alva EDISON y la patente fue concedida un 19 de Febrero de 1878 ⁴. El primer fonógrafo, como se llamó aquel dispositivo, había hecho su aparición y desde entonces hasta la época más cercana de los discos compactos, hace pues más de cien años, ha estado renovándose continuamente.

Antes del Fonógrafo

Como generalmente ha sucedido en la historia de la técnica, aunque el fonógrafo fuera el primero en una larga serie de inventos que trasladaban el sonido de medio hasta un formato mecánico para guardarlo, el resultado se debe situar al final de una gran cantidad de búsquedas y experimentos tanto teóricos como prácticos.

En la historia del antes, la producción de sonidos por máquinas tiene una larga e interesante evolución. Estrictamente hablando, cualquier instrumento musical es una máquina para producir sonidos, y muchas de ellas, conocidas por todos, fueron llevadas a la práctica siglos atrás. Más tarde, la inventiva del hombre desarrolló sistemas de generación de sonido a través de una maquinaria móvil, esto es: Construyendo dispositivos que, cuando eran accionados por giro de una manivela o por un reloj mecánico, podían generar notas musicales sin la intervención directa de un ejecutante. El metrónomo, inventado a finales del siglo XIII, está dentro de esta categoría aunque solo generase dos notas.

Un tubo giratorio al que se embutían unos pequeños listones hechos de madera o metal que flexaban y vibraban por el efecto de unas púas

giratorias colocadas en un determinado orden y algún otro dispositivo de movimiento similar, han sido los antecedentes que han servido como diseño fundamental de las más recientes máquinas musicales, incluida la caja de música en todas sus formas; incluidos los polifónicos también, los carrillones mecánicos, los órganos de tubos y demás. Todos ellos son dispositivos para producir sonido mecánicamente, y no son más que referencias laterales del presente estudio.

La reproducción de ondas sonoras es un concepto muy posterior y más sofisticado. Supone la captura de las formas de energía existentes pero a su vez invisibles, también llamadas ondas o vibraciones, a su paso por el medio aéreo, el almacenamiento de todos estas formas de onda en forma mecánica y la reproducción del sonido original (o una aproximación a éste) en cualquier momento posterior.

Aunque algunos estudiosos, sin embargo, proponen que ya estaban resueltos todos estos problemas siglos antes de Edison, y que las soluciones se perdieron otra vez por una serie de temores mezquinos. Según la referencia que nos brindan R. y C. DEARLING (1984): en el libro descatalogado de Isaac D'Israeli "Curiosidades de la Literatura" (1859), haciendo referencia a su vez a otros escritos anteriores:

"En el siglo decimotercero cierto hombre llamado Albert Magnus construyó una pieza mecánica que era capaz de simular distintos sonidos vocales, por lo que aterrizó tanto a Tomás de Aquino que éste atacó con todos sus poderes hasta conseguir la mortificación de Albert, aniquilando su labor curiosa de treinta años".

Podemos especular, al margen del estudio, aventurando que quizá la gran invención de Albert fuera algo aproximado a un dispositivo de fricción con un mecanismo de relojería, dándole tono y volumen a través de una caja sonora, o algún otro aparato que se ponía en marcha mediante un mecanismo de contrapesos, gracias a la fuerza de gravedad y que producía el efecto de voces articuladas.

El interés por las máquinas parlantes no ha cesado en la historia del antes de la grabación sonora, y siempre han sido objeto de demostración en ferias y exposiciones. La realizada por el barón von Kempelen fué muy celebrada en la Viena del siglo XVII, aunque quizá la más famosa llegó a ser la "Faber Talking Machine" ⁵, presentada en la exposición de París de 1876. La voz era natural y la pronunciación casi perfecta, hasta que detectaron el fraude y Mr. Faber fue juzgado por ventrílocuo, dicen las crónicas de la época.

La literatura de ficción recoge a menudo el tema de la restitución de sonidos del pasado, aunque la mayoría están referidos a "cajas herméticas especialmente elaboradas para conservar determinadas palabras importantes" o a sonidos "...que producidos por una gran batalla librada allí el invierno anterior, se habían congelado en el aire y sólo ahora caían al suelo y se derretían hasta ser audibles" ⁶.

En el despertar de la Revolución Industrial la atmósfera fue óptima para la investigación y la experimentación en la naturaleza de las cosas y en los mecanismos que las hacía posible, con el anhelo evidente de imitarlos. La electricidad se había descubierto por esta época y sus efectos fueron descritos ampliamente, multiplicándose sus aplicaciones. Todos los fenómenos cercanos al hombre como la luz, el sonido, el cuerpo humano, el tiempo y el espacio, estaban empezando a ser investigados con creciente interés, y los principios técnicos más antiguos como la polea y el tornillo o el uso de las aleaciones entre distintos metales se estaban aplicando a las cada vez más elaboradas invenciones. En el campo que ahora nos ocupa, la captación y la reproducción del sonido, la dedicación de investigadores individuales, cada uno con su propio método, escasos medios y amplios objetivos, buscando perfeccionar y llevarlo a un punto que pudiera ser objeto de interés; en muchos casos para su fabricación y posterior comercialización, en otros como apoyo a su labor científica.

FONOAUTOGRAFO DE SCOTT

El antecedente más significativo del fonógrafo aparece en 1857, Eduard Léon Scott de Martinville, un linotipista con ascendientes irlandeses pero que residía en Francia, construyó una máquina a la que llamó "Fonoautógrafo" --. Consistía en un cilindro en forma de barril con una base más ancha que otra, inclinado alrededor de 25 grados respecto a la horizontal. La base final más baja estaba cerrada por una membrana adherida a la boca del cilindro. Solidario con esta membrana y desde su centro geométrico sobresalía un fino pincel. El extremo más ancho opuesto a éste se mantenía abierto. Cuando las ondas resultantes de las vibraciones sonoras llegaban a esta campana abierta, la presión de estas ondas sonoras dentro del barril originaba la vibración de la membrana, provocando que el pincel oscilara solidario con ésta. Este pincel vibrando trazaba una línea parecida a una onda en la superficie tiznada con carbón de una hoja de papel que envolvía al cilindro sobre el que "pintaba", el cual se movía manualmente mediante una palanca, dejando una grabación visible de la onda sonora.

El primer prototipo resultó confuso y poco manejable, y las

"grabaciones" no tenían mucha calidad, por lo que el asociado de Scott, un tal Koenig, introdujo una ligera modificación que consistía en que el cilindro donde se grababa el sonido se enrollaba en una varilla que giraba lateralmente dándole a la grabación un aspecto helicoidal. De esta forma se presentó el Fonoautógrafo en Londres en el año 1859. Un modelo posterior sustituyó el cilindro por un disco resultando ser la primera vez que un disco fue utilizado como medio de almacenamiento sonoro permanente. Este procedimiento no permitía la reproducción del sonido así grabado siendo por ello muy limitado en sus aplicaciones.

Veinte años antes, el físico francés J.C.M. Duhamel trabajando en temas afines, produjo en una banda de papel un trazo de las oscilaciones de un cordel tensado al ser sometido a vibración. Incluso antes, en 1807, el científico inglés Thomas Young aplicó un diapasón vibrando a la superficie de un cilindro en rotación y obtuvo una grabación visual de sus deflexiones. Era el rastro de las oscilaciones de las varillas del diapasón sobre negro de humo. Esta fue la primera ocasión conocida en la que ondas sonoras fueron convertidas en un patrón visible para el análisis posterior. Experimentos anteriores habían mostrado que las vibraciones sonoras podían convertirse en movimiento mecánico por el uso, en primera instancia, de un espejo el cual, cuando se fijaba a un objeto vibrante, podía trazar curvas luminosas en una pantalla, pero estos resultados eran efímeros,

ya que tampoco se podían conservar. Los experimentos tanto de Young como de Duhamel fueron puramente mecánicos en su naturaleza, aunque las incursiones que fueron haciendo tenían una motivación principalmente médica. Ninguno permitía almacenar los registros para convertirlos de nuevo en ondas sonoras ⁷.

LOS ANTECEDENTES MAS CERCANOS. BELL.

En la mitad del siglo diecinueve los científicos habían resuelto muchos de las dudas planteadas por la observación del mundo de cada día, y los avances fueron apareciendo buscando comprender la problemática del cuerpo humano. Los fisiólogos del habla se dirigieron al mundo de la Física para poder encontrar respuestas sobre la naturaleza de la producción fonal: la manera por la cual los sonidos pronunciados son generados por las cuerdas vocales, la posición y la flexión de la lengua, la forma de la cavidad bucal, y demás formantes del habla. Estos médicos generalistas se dieron cuenta de que comprendiendo los mecanismos ocultos del habla en el ser humano podían resolver la cuestión de por qué esos mecanismos producían lesiones en algunos pacientes. Estas interrogantes condujeron inevitablemente a las investigaciones relacionadas con la naturaleza del

sonido en sí mismo, y el Fonoautógrafo de Scott mostró, a través de las curiosas formas de onda en su cilindro recubierto de papel, cual era la enorme complejidad de las señales sonoras producidas por las vibraciones de la voz humana.

El sistema tuvo éxito en la transformación del sonido en líneas visuales para su posterior examen, sin embargo para que sonido grabado dejase de ser inaudible hubo que esperar hasta el definitivo impulso de Edison. Algunos otros factores técnicos y humanos, interesantes y necesarios, hubieron de ir agrupándose hasta confluir en lo que se dió a la luz pública en 1877. Uno de estos elementos, quizá más lejano pero sin duda influyente fue Alexander Melville Bell, profesor de fonética en la Universidad de Edimburgo y en la Universidad de Londres. Su trabajo anterior se centró en la mecánica de la producción del habla y en un alfabeto fonético internacional, plasmados ambos trabajos en su libro "Visual Speech: The science of Universal Alphabetics", publicado en 1867. Básicamente se trataba de una obra donde estudiaba gráficamente el modo según el cual se producían los sonidos vocales y como representarlos claramente con caracteres escritos.

Aunque no se llegó a plantear sin embargo el problema mecánico de mantener esos sonidos para un análisis comparativo. Estudio que después del fonógrafo realizaría, expresándolo en su libro "Sounds and Their

Relations" publicado en 1881.

Uno de sus hijos, Alexander Graham Bell, había estudiado las actividades de su padre con gran interés, y debido a esto abrió una escuela para el entrenamiento de los profesores que enseñaban a personas sordas. La mecánica del habla y su aplicación eran los temas en que principalmente se centraban estas clases. Bell había descubierto en el año 1876 un dispositivo que podía transmitir la voz humana mediante impulsos eléctricos, cubriendo grandes distancias ⁸.

El dispositivo de Bell consistía en una banda de hierro sujeta a una membrana la cual , cuando oscilaba por el sonido de las ondas vocales, hacía vibrar un generador electromagnético que se alimentaba mediante una batería. Esta enviaba una corriente eléctrica a lo largo de un cable, hasta el final de éste, donde se situaba otro dispositivo similar que producía el efecto opuesto. Las primeras palabras habladas en el teléfono, como se llamó el maravilloso invento, fueron pronunciadas por el propio Bell cuando reclamaba a su ayudante:

"Mr Watson, come here; I want you"

Este teléfono se presentó poco más tarde como patente de aplicación en Febrero de 1876. La Compañía Americana de Teléfonos y Telégrafos se

formó más adelante, en ese mismo año, para comercializar en todo el mundo la invención de Bell.

Bell había transmitido sonido eléctricamente desde un lugar a otro (lo que en teoría debería ser una distancia ilimitada), pero el sonido era todavía efímero. Se necesitaba otro paso más en el control del sonido antes de que se pudiera almacenar en un medio físico para una potencial recuperación posterior.

Aunque de un modo teórico, éste paso lo dió el francés Charles Cros quien, en Abril de 1877, intentó registrar un procedimiento descrito como sigue:

"Un disco de cristal ahumado, en donde había grabado un trazo espiral producido por una púa cuando oscilaba debido al movimiento de las ondas sonoras en el aire. La línea espiral podía hacerse permanente en una matriz metálica con el uso del fotograbado, y el sonido podía entonces reproducirse simplemente guiando a través de la línea espiral otra aguja."
(DEARLING, R&C. 1984, p.14)

Era un procedimiento específicamente diseñado para registro y reproducción de fenómenos auditivos y, aunque Cros publicó detalles de su

invención en varios semanarios científicos y de divulgación, el dispositivo, al cual llamó Paleófono ⁹, no tuvo éxito alguno.

Hay que destacar que la invención de Cross no fué nunca más allá de un proyecto escrito y dibujado y que, por tanto, no llegó a materializarse mecánicamente.

THOMAS ALVA EDISON fue un genio eminentemente práctico, preocupado por diseñar aparatos que hubieran sido previamente declarados como útiles y necesarios. Quizás una de las primeras invenciones de Edison, a la edad de veintiún años, que se publicó en un medio de comunicación técnico, se trataba de un método de transmisión a través de ambos lados de un mismo cable utilizando una señal eléctrica y tenía relación directa con el trabajo que entonces realizaba. Fue descrito en un artículo de Milton F. Adams, publicado en "The Journal of the Telegraph" en Junio de 1868.(WELCH, W.L. 1977)

Años después presentó en Washington una patente para una "Máquina telegráfica para votar a distancia". A esta siguieron otras hasta alcanzar una cifra superior a las mil patentes que abarcan desde motores neumáticos, baterías y dinamos hasta telegrafía y fotografía en movimiento.

Desde nuestro punto de vista y la que interesa para este estudio es

la patente de aplicación número 200521, es decir, la patente admitida y firmada por Edison para el Fonógrafo ¹⁰.

Los problemas que planteaba el almacenamiento del sonido así como su reproducción en similares condiciones a la grabación le venían preocupando ya a Edison con anterioridad. Su patente número 213554, presentada el 3 de Febrero del año 1877, era un diseño para un disco de papel en el cual se podían guardar los mensajes telegráficos para una transmisión posterior a velocidad alta, y, aunque también estaba pensando en su aplicación a la telegrafía, llegó a considerar el uso de un disco de similar diseño para el almacenamiento de voces que permitiera, de modo fiable, su reproducción posterior.

Originalmente, según puede verse por algunos grabados de la época y por la descripción escrita de algún testigo del prototipo, era un mecanismo muy simple que consistía en un cilindro de metal recubierto de una lámina delgada de estaño; sobre ésta lámina se iban dibujando unos surcos en profundidad proporcionales a las vibraciones sonoras que recogía una membrana a la que estaba adherida una aguja de metal. La membrana y la aguja formaban parte de una pequeña bocina en la que se hablaba, cantaba o tocaba algún instrumento musical. El cilindro rotaba manualmente mediante una manivela y se desplazaba de un extremo a otro, a través de un tornillo sin fin, dejando la aguja sobre la lámina, pegada al

cilindro, un surco helicoidal constituido por multitud de incisiones. Para escuchar los sonidos así grabados simplemente se invertía el proceso; se empleaba una aguja menos puntiaguda y una bocina de mayor volumen que sirviese para amplificar; la aguja volvía a recorrer las incisiones y hacía vibrar la membrana que, a través de la bocina, reproducía los sonidos grabados con fidelidad suficiente.

Edison supo ver con gran aproximación las importantes dimensiones de lo que podía llegar a significar el fonógrafo. Esto puede verse al leer su lista profética acerca de los usos futuros que podrían ofrecer las sucesivas generaciones de su invento. Se compone de 10 apartados:

- 1.- Grabación de cartas y toda clase de dictados sin la ayuda de estenotipista.
- 2.- Libros fonográficos, los cuales hablarán a las personas ciegas sin ningún esfuerzo por su parte.
- 3.- La enseñanza de la declamación.
- 4.- Música. A la que estará plenamente dedicado.
- 5.- Las grabaciones familiares de voces. Primeras palabras y últimas.
- 6.- Cajas musicales, juguetes, muñecas parlantes. Una muñeca podrá hablar, cantar, gritar o reír.

7.- Relojes que hablan anunciarán la hora del día, de ir a comer, etc.

8.- Preservación del lenguaje. Reproduciendo voces de grandes hombres.

9.- Propósitos educativos; preservando las instrucciones de un maestro, o aprendiendo lecciones de pronunciación, o de idiomas.

En un sentido más amplio, las grabaciones estarán referidas a muchas esferas educativas: Lenguajes, historias de la música, grabaciones de práctica musical, películas educativas.

10.- Avances y perfeccionamientos en el terreno de la telefonía, haciendo que sea un auxiliar para la transmisión de grabaciones permanentes ¹¹.

Muy poco tiempo después, en el año 1878, y ante el inusitado éxito alcanzado por el prototipo, el invento pasa al proceso industrial creándose la Edison Speaking Phonograph Company. Se inicia la era de la grabación sonora, fabricándose cientos y cientos de máquinas que se distribuían por todo el mundo, exhibiéndose la nueva invención en salas de concierto, teatros y tiendas de feria, de un modo que recuerda también los primeros tiempos del cinematógrafo. Al mismo tiempo deben distribuirse miles de

copias de los cilindros, puesto que la demanda se multiplica.

Como curiosidad técnica citaremos que el proceso de copiado se lleva a cabo utilizándose un pantógrafo de modelado, adaptado al procedimiento de elaboración de copias de fonógrafo. De éste modo completamente artesanal, instalando los pequeños talleres en viviendas particulares, mecanizando secuencialmente una copia detrás de otra, se inicia un procedimiento industrial de incalculables dimensiones; en aquél momento circunscrito al ámbito de los Estados Unidos y que hoy se ramifica a escala mundial.

Después del Fonógrafo

El principio en el que se basaba el sistema de Edison era el de *grabación vertical*. La lámina delgada con la que estaba recubierto el cilindro quedaba marcado en profundidad y anchura por las variaciones de amplitud de la aguja solidaria a la membrana, como ya habíamos dicho. La profundidad y la desviación de los surcos grabados por la aguja en la fina lámina de cera o estaño, eran proporcionales a los cambios de presión de la ondas sonoras recogidas por la bocina. La pista sonora resultado de éste proceso podía reproducirse siguiendo el procedimiento inverso, recorriendo los surcos en el mismo sentido.

Este principio fue sustituido más adelante por otro diferente en algunos aspectos que, con pequeñas variaciones, se conservó en lo fundamental hasta la llegada de los discos Compactos. Diez años más tarde un emigrante alemán nacionalizado americano, llamado Emile BERLINER introdujo el concepto de *grabación lateral* en disco y modificó los esquemas de los procedimientos establecidos por el fonógrafo de Edison. Principios que co-existieron durante algunos años hasta que la grabación vertical desapareció por imposición técnica debido a las evidentes mejoras

que introducía la grabación lateral.

En el año 1887, Berliner presentó patentes de aplicación en los países con mayor desarrollo técnico y científico de la época: En Alemania (Nº 45048), en Inglaterra (Nº 15232) y en Estado Unidos (Nº 7204). El objeto de dicha patente era el denominado "GRAMOPHONE", y se anunció como:

"...una máquina parlante que utiliza discos de grabación lateral, opuesta al fonógrafo de Edison que utiliza cilindros de grabación vertical".(HUTTO, E. 1977).

En la grabación lateral la aguja, solidaria a la membrana de la bocina, incidía perpendicularmente sobre el disco en un movimiento lateral de zig-zag, cuya amplitud dependía de la presión sonora de las ondas que recogía la bocina, arañaba la superficie blanda del disco en el que se había depositado previamente una fina película de cera. El disco era en realidad una placa circular de zinc, de trece centímetros de diámetro que, una vez grabado, se sumergía en un baño de ácido durante veinte minutos. El surco dejado por la aguja sobre la cera permitía que el zinc así expuesto fuera atacado por el ácido. Los desplazamiento de la aguja, ahora marcados de manera indeleble por este procedimiento de grabado al aguafuerte, se pasaban a un "negativo" mediante un proceso de estampación. Es a partir

de este negativo y por un sencillo procedimiento de troquelado, del que se obtenían cuantas copias se deseara del disco de zinc original, en discos de caucho y laca, similares a los actuales de vinilo.

A modo de curiosidad podemos comparar la evolución en los discos expresándolo en cuanto a tamaño en centímetros (cm) y en cuanto a velocidad de giro en revoluciones por minuto (rpm).

De los 13 cm iniciales se pasó a 18 cm; posteriormente a 25 cm y después se normalizó en los 30 cm de los vinilos actuales. Con los discos compactos se ha pasado de nuevo a un tamaño más reducido de 12 cm de diámetro. En cuanto a la evolución de la velocidad de giro, de 30 rpm se pasó a 70 y luego a 78 rpm. Con el microsurco se redujo a 45 rpm y con los LP se normalizó a 33,3 rpm. El disco compacto (CD) rompe estos esquemas e impone una velocidad rotacional que, dependiendo del mecanismo de tracción, oscila entre 200 y 500 rpm.

El disco de grabación lateral de Berliner, además de los conceptos nuevos introducidos en el procedimiento, significó un avance importante sobre los cilindros de grabación vertical. Era capaz de generar, en el proceso de lectura, niveles de energía sonora superiores a los del fonógrafo, y por lo tanto, como consecuencia inmediata se tradujo en una disminución de la bocina que incorporaba para la reproducción. Los discos eran mucho más fáciles de manejar y guardar, alcanzando una vida útil mucho mayor.

Y, quizá, lo que fué más importante para su espectacular desarrollo e industrialización: suponía la posibilidad de fabricar discos masivamente por procedimientos no artesanales.

Un ingeniero, colaborador de Berliner, llamado Eldridge R. Johnson participó decisivamente en los acontecimientos que se sucedieron a partir de este momento. Johnson incorporó un mecanismo de relojería al gramófono para mantener con precisión la velocidad de giro del disco. Después incorporó un motor eléctrico, en sustitución del mecánico, alimentado por una batería incorporada al sistema de reproducción.

Este motor se diseñó y mecanizó de modo que pudiera utilizarse también en el sistema de arrastre del fonógrafo.

Berliner y Johnson crean, en el año 1901, la Victor Talking Machine Company. Empresa de importancia decisiva en la comercialización y distribución de sus máquinas por todo el mundo, así como para la investigación y el desarrollo de la grabación sonora.

GRABACION ELECTRICA

El uso de la electricidad tanto para grabar como para reproducir ondas sonoras no se llevó a la práctica hasta los inicios de los años veinte. Por esta época, el sonido enviado a la superficie grabadora era captado por una bocina alrededor de la cual los artistas debían agruparse, en una posición poco confortable, con la intención de que se pudieran recoger la mayoría de las ondas sonoras generadas. Un intérprete de un instrumento musical en la ejecución de un solo ; un tenor o una soprano en actuación individual o incluso una declamación, permitía poder colocarse frente a la bocina y proyectar su voz o las vibraciones del instrumento sin demasiadas pérdidas y con mayor fidelidad.

El ingeniero de grabación debía conseguir un balance ajustado, un equilibrio armónico del conjunto y para ello debía buscar los planos sonoros de los distintos intérpretes; el pianista tenía que estar en un plano similar a los cantantes que estaban de pie, por ello debía situarse elevado sobre una tarima para que el sonido de su instrumento no fuera físicamente demasiado leve; los intérpretes de violín tenían que tocar con un elemento amplificador que consistía en un diafragma complementario que se ajustaba

al puente del instrumento; el tenor debía situarse a una distancia de la bocina distinta de la del barítono que, a su vez, era distinta de la soprano. Esto es, dependiendo del nivel de presión sonora que fuera capaz de generar la voz o el instrumento musical, se establecían los distintos planos de situación respecto a la bocina.

Se incluía en el sistema un elemento atenuador que hacía las veces de lo que hoy conocemos como mezclador: una bola de material textil que se introducía en la bocina y atenuaba la señal sonora en función de los niveles de salida que se quisieran obtener. La idea sobre los distintos planos sonoros y su relación la daba el productor artístico de la obra que iba a grabarse. El ingeniero de grabación debía considerar todos estos factores y conseguir el equilibrio adecuado entre todos los componentes.

El procedimiento para comprobar la validez o no de la toma era en parte visual ¹². Un ingeniero experto podía hacerse una idea de la "calidad" de los surcos sonoros por su apariencia y, si durante el proceso no había habido fallos auditivos percibibles, la grabación pasaba al proceso metalográfico y a la posterior mecanización de copias.

Los inicios del uso de la electricidad y la posibilidad de amplificación de señales muy pequeñas mediante las válvulas de vacío, así como el desarrollo de altavoces con control de volumen incorporado, significaron un avance fundamental y, como consecuencia lógica, el

abandono paulatino de los procedimientos de reproducción basados exclusivamente en elementos mecano-acústicos.

Cuando hablamos de válvulas de vacío, necesariamente hemos de volver a Edison, que ya en 1883 observó, trabajando con la lámpara de incandescencia de su invención, el flujo de corriente entre un filamento caldeado y un ánodo dentro de una ampolla de vidrio cerrada al vacío: se denominó "Efecto Edison".

En el año 1904, el Profesor J.A. Fleming, aplicando la idea del inventor del fonógrafo, construyó la primera válvula termoiónica de vacío de dos elementos que se llamó "diodo". No tuvo gran alcance porque necesitaba un reostato para controlar la gran cantidad de calor que desprendía el filamento.

El Dr. Lee DeForest, dos años más tarde consigue mejorar el procedimiento incorporando en el interior de la válvula una rejilla de control, que elimina el problema de calentamiento, con lo que inventa la válvula de vacío de tres elementos o "triodo", a la que inicialmente se denominaba "audiión".

Esto va a significar la solución a los problemas planteados por las señales de muy bajo nivel, aumentando significativamente la dinámica y disminuyendo el ruido de rozamiento del sistema. Se inicia el desarrollo de las técnicas de amplificación, para incorporarlos, en los primeros años

veinte, a los sistemas de grabación y sobre todo a la radiodifusión. La imagen del radioescucha aficionado que acariciaba su propio oscilador de galena y, a través de auriculares sufría los ruidos de la estática, desaparece, dando paso a los circuitos electrónicos superheterodinos y a los altavoces con control de volumen.

Formalmente, en el año 1924, finaliza la era de la grabación acústica y nace la era de la grabación eléctrica. El ingeniero de Bell Laboratories, Joseph P. Maxfield, al frente de un grupo de expertos de las compañías English Columbia y His Master's Voice (Gramophone Co.) consiguen reemplazar definitivamente la aguja, el diafragma y la bocina del sistema acústico, por una cápsula electromagnética, un amplificador de válvulas y un micrófono de condensador.

El perfeccionamiento que se había conseguido en la fabricación de diagramas exponenciales para las bocinas, se aplicó en el diseño de las cajas acústicas para los altavoces. Los primeros prototipos, con un sólo transductor electromecánico de bobina móvil, eran abiertos, no herméticos y así aprovechaban la radiación trasera del altavoz para obtener mayor rendimiento y realzar las frecuencias bajas.

La evolución de estos elementos técnicos se ha dado sobre todo en el aspecto tecnológico con la introducción de nuevos materiales: imanes más potentes, bobinas más resistentes y conos más elásticos. Esto ha

facilitado también la fabricación de altavoces electrostáticos, más complejos pero de mayor calidad. Actualmente se combinan ambos tipos de elementos transductores, funcionando en distintos márgenes de frecuencia complementarios, que se integran en la misma unidad.

MICROFONOS

La producción de micrófonos específicos aplicados a las técnicas de grabación cambiaron muchos esquemas. A pesar de que el micrófono, en su concepción más básica, había ido incrementando su uso durante casi medio siglo es curioso que ninguno de los genios inventivos relacionados con la grabación sonora había intentado introducirlo en su esfera de actividades. Un teléfono electromagnético transmisor de A. Graham Bell, inventado en 1876 y desarrollado por Edison como teléfono de carbón transmisor al año siguiente sirvió para aprovechar la idea y utilizarlo como elemento captador en una grabación.

Los pioneros fueron dos ingenieros ingleses, George William Guest y Horace Owen Merriman de la Compañía Gramophone que llevaron a cabo el complicado proceso en la Abadía de Westminster en Noviembre de 1920. Allí, cerca del altar mayor, se situó el aparatoso micrófono, la señal eléctrica se enviaba a la aguja que transmitiría las oscilaciones a través de una electromagneto. La grabación estaba muy distorsionada y mal equilibrada, en parte por las características técnicas del sistema y en parte por la dificultad en discriminar, con un solo micrófono, las señales directas

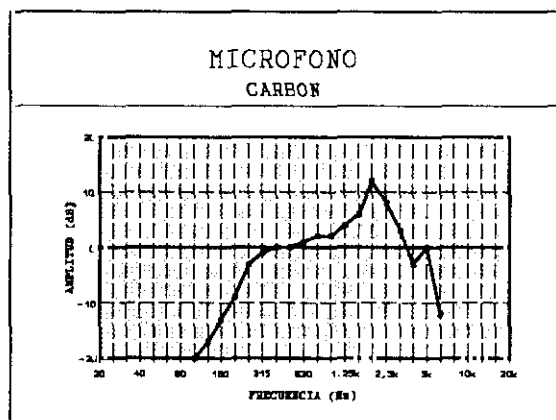
de las reflejadas en un recinto de acústica tan compleja. A pesar de todo se editó un disco de aquel evento en el que "... se podía reconocer vagamente como una grabación de una masa de coros y orquesta"(WELCH, 1977).

Supuso un avance técnico de gran magnitud puesto que ampliaba en varias octavas el margen de frecuencias que podía grabarse. En el procedimiento de captación de ondas sonoras a través de una bocina, la conversión tenía enormes pérdidas debido en gran parte a la poca elasticidad del binomio membrana-aguja, así como al peso del sistema. Los límites de frecuencia oscilaban entre 150 y 1.100 Hertzios, o ciclos por segundo como se expresaba entonces.

El micrófono de carbón estaba basado en las propiedades resistivas de los gránulos de éste mineral, al ser agrupados a presión en una cazoleta de latón, que se mantiene en contacto con el diafragma metálico expuesto a las ondas sonoras. Por el sistema circula una corriente constante, suministrada por una batería, que varía cuando varía la resistencia del carbón, al ser "empujado" por la presión sonora.

La tensión de salida será proporcional al desplazamiento del diafragma, que estará en función de la forma de onda acústica que incide sobre él. Algunas de las principales desventajas del micrófono de carbón eran: su enorme sensibilidad a la humedad, su continuo silbido de alta frecuencia, debido a la variación de la resistencia de contacto entre los

gránulos y una distorsión armónica bastante elevada. La respuesta en frecuencia, aún siendo limitada, como puede verse en el gráfico adjunto, supuso un notable avance respecto a la respuesta del sistema



puramente acústico de la bocina, la membrana y la aguja.

Evidentemente, dada la ausencia de instrumentos de medida en aquella época, no se disponen de datos objetivos sobre el alcance en frecuencia y cantidad de distorsión del Fonógrafo. Baste recordar que inicialmente fué concebido como una máquina parlante y que, según la opinión subjetiva de un crítico que presencié su presentación, no era más que : "...una burlesca parodia de la voz humana"(HUTTO, 1977).

Tampoco el Gramófono mejoró sustancialmente éstas características dado que el sistema de transmisión mecano-acústico se mantuvo con pocas variaciones. Impresiones subjetivas de testigos presenciales del sistema lo llegan a definir como: "...el soplido de una locomotora y el ruido de un coche de caballos al mismo tiempo" (HUTTO, 1977).

GRABACION MAGNETICA

En la historia de la grabación magnética es inevitable citar las primeras experiencias llevadas a cabo por el ingeniero danés Valdemar Pulsen, plasmadas a finales de siglo en el Telegráfono, que fué el nombre con el que denominó su invento. Era una grabadora magnética por cable que se presentó como una máquina de dictado y recoge-mensajes. Consistía en un cilindro de metal, en cuya superficie se movía el cable grabador mediante un surco helicoidal que le permitía una velocidad lineal de 2.2 metros por segundo. La reproducción posterior, por procedimiento inverso desde el cable, era bastante pobre en comparación con los últimos experimentos con los discos e incluso con los cilindros fonográficos. Un problema adicional fué que la única forma de escuchar el sonido grabado era a través de unos auriculares convenientemente adaptados eléctricamente, dado que aún no habían aparecido las válvulas amplificadoras.

A principios de 1900 Pulsen experimentó con una grabación en discos metálicos de, aproximadamente, 2 milímetros de espesor y 11.5 centímetros de diámetro, pero a pesar de que tuvo cierto éxito los resultados nunca se promocionaron en el ámbito comercial.

Una idea profética en la patente del danés Pulsen, aunque no llegase a materializarla, se refería a: " Una banda de un material aislante como el papel cubierto con un polvo metálico magnetizable podía probablemente ser el mejor soporte de grabación". (MULLIN, J.T. 1977).

Los experimentos continuaron y en el año 1933 la compañía alemana AEG presentó un prototipo denominado "Magnetofón", que se convirtió en la primera máquina grabadora que usaba una cinta con una base plástica. Cinta que fué descubierta por la compañía BASF en aquel mismo año.

Tanto el soporte como el recubrimiento de la cinta magnética debía cumplir una larga serie de requerimientos técnicos:

"La base o soporte debería de ser flexible y duradera, magnéticamente impermeable y del mayor espesor posible. Aunque debía también ser lo suficientemente suave para deslizarse sin ruido a través de las guías y las gomas que hacían presión (capstan), pero que no patinara para prevenir enrollamientos de la cinta contra el interior de la carcasa.

Las características técnicas que se exigían para el recubrimiento magnetizable eran incluso más críticas.

"El recubrimiento debía de ser duradero y flexible en el uso, así como resistir grandes variaciones de temperatura sin perder su señal, además debía adherirse fuertemente a la base pero no a las espiras adyacentes; su recubrimiento debía de aparecer continuo y sin desperfectos; sería incluso mejor cuanto más denso y ancho permitiera su fabricación." ¹³

Una vez superados todos los condicionantes técnicos de desarrollo del prototipo, el primer grabador de cintas magnéticas que comercialmente salió al mercado fué el 'Magnetofón' fabricado en colaboración por AEG y Telefunken en Alemania en el año 1937. Poco después la American Brush Development Company puso a la venta su "Soundmirror", un grabador de cinta que no llegó a ser en absoluto tan avanzado como aquellos modelos que fueron usados en la Segunda Guerra Mundial por las Estaciones de Radio Germanas para fines propagandísticos y otro tipo de transmisiones habladas. Cuando los Aliados liberaron Luxemburgo en el otoño de 1944 descubrieron algunos avances significativos respecto a sus aparatos grabadores de sonido. Los ingenieros de EEUU y Gran Bretaña pudieron comprobar su técnica más elaborada y eficiente implementando en sus diseños los sistemas que habían sido probados ampliamente en estas

máquinas por los ingenieros alemanes Braunmuhl y Weber.

Muy poco después de la Segunda Guerra Mundial los estudios de grabación cambiaron totalmente sus sistemas para incorporar la cinta magnética en sus grabaciones maestras. La cinta ofrecía la misma facilidad de repetición y sustitución que los antiguos rollos de las pianolas. En manos de un experto y hábil técnico de edición por corte, los empalmes podían llegar a ser absolutamente indetectables. Incluso en los más complicados tratamientos posteriores a la grabación, los cortes se podían suavizar hasta hacerlos imperceptibles, añadiendo un ligero efecto de eco situado estratégicamente ¹⁴.

Se modificó en seguida algo tan fundamental en la grabación magnética como era la frecuencia de polarización, que hasta entonces era detectable en una escucha atenta. Las calidades de los recubrimientos magnéticos de las cintas mejoraron sustancialmente incorporándose derivados del hierro menos abrasivos.

En el año 1948 se pone en marcha la compañía Ampex para fabricar magnetófonos profesionales y será la que, a partir de entonces, marcará la investigación y el desarrollo de la grabación magnética.

ALTA FIDELIDAD

Con la cinta magnética y los desarrollos técnicos que fueron imponiéndose, se inicia la era de la Alta Fidelidad (HI-FI) en todo el mundo, multiplicándose los avances de modo espectacular. Puede decirse que el comienzo de dicha era se establece, de un modo general, cuando el usuario llega a tomar conciencia del potencial sonoro de que dispone. Y desde un punto de vista técnico, cuando las grabaciones comerciales superan cualitativamente a los equipos de reproducción doméstica de que se disponía. El rango dinámico y la respuesta en frecuencia de dichas grabaciones excedía en varias octavas a los de los amplificadores de potencia y, sobre todo, a las pantallas acústicas de los equipos disponibles en el mercado.

La compañía RCA Victor presenta el primer disco "Long Playing" (LP) al finalizar el año 1931, incorporando técnicas diferentes hasta entonces. Tenía un diámetro de 30 centímetros y el tiempo de grabación almacenado era de ocho minutos por cada cara. La velocidad de giro se reduce a menos de la mitad, pasando de 78 rpm a la de 33 1/3 rpm. Más adelante aparecen los discos Extended Playing (EP) de menor diámetro, 18

centímetros y mayor velocidad de giro, 45 rpm, que los LP. Y ya a comienzo de los años 50, el LP alcanza su mayoría de edad manteniendo la velocidad de 33 1/3 rpm, pero ofreciendo 23 minutos por cada cara de auténtica alta fidelidad.

La evolución es continua a partir de éste momento, incorporándose en los nuevos desarrollos otras compañías importantes como la Columbia en USA y la Decca en Inglaterra.

Uno de los avances más importantes está en la reducción del peso y la fuerza de apoyo de los brazos giradiscos y las cápsulas fonocaptoras, así como en la mejora de las agujas, originalmente de acero e incluso de bambú o de fibra plástica, que pasan a ser de zafiro y después de diamante. El peso del conjunto brazo - aguja se reduce drásticamente desde los 200 gramos aproximadamente hasta los 25 gramos.

Alguno de los hitos más importantes de estos años fueron:

- . La mesa de mezclas profesional apareció en el Reino Unido en el año 1948.
- . Las grabadoras magnéticas de carrete abierto se ofrecieron comercialmente al público en 1950 en América y en el 51 en el Reino Unido.

. La primera grabación de un programa de televisión en cinta fue realizado por la RCA Laboratories en América en 1953.

. Las cintas magnéticas pregrabadas, en carretes de 18 centímetros y a una velocidad de 7,5 pulgadas por segundo (19,05 cm/s), aparecieron en el mercado en 1954 grabadas por la compañía VICTOR, en América en Junio de 1954 y por EMI en el Reino Unido en Septiembre de ese mismo año (RUDA, 1977).

CASETE ¹⁵

La casete Philips, en un primer momento llamada "Cartucho" pero más tarde conocida y promocionada en la industria como " Casete Compacta" (CC), fue diseñada y desarrollada íntegramente por ingenieros de la Philips en Holanda, y se presentó técnicamente en el Show de la Radio de Berlín en el año 1963. Comercialmente apareció primero en el Reino Unido en Junio del 64, a continuación en USA y en el 66 ya estaba siendo distribuída en todo el mundo. Permitía hasta 30 minutos de duración por cada cara de la casete, ofreciéndose originalmente en su formato sin grabar, es decir virgen; más tarde aparecieron también en su forma pregrabada comercialmente.

Sin duda lo más importante en el espectacular desarrollo del casete fue el hecho de que hacia mediados del año 1966 la normativa técnica de Philips se consiguió imponer a nivel internacional: El ancho de la cinta se fijó en 3,8 milímetros y su velocidad de grabación en 4,75 centímetros por segundo; ofrecía compatibilidad absoluta estéreo/mono obtenida mediante el posicionamiento de las dos cabezas magnéticas estéreo adyacentes en el magnetófono grabador, y con el mismo ancho que una monofónica, con

objeto de que la cinta pudiera también escucharse en los reproductores monoaurales. El acuerdo internacional y la normativa que involucraba dicho acuerdo se pudieron llegar a establecer gracias a la visión de futuro y también a la generosidad de la empresa Philips al ofrecer las licencias de fabricación libres de aranceles y derechos, para todas aquellas compañías que estuvieran de acuerdo en seguir el diseño básico.¹⁶

Inicialmente las características técnicas de los casetes eran de muy bajo nivel: respuesta en frecuencia pobre, distorsión elevada y un enorme ruido de fondo motivado por el rozamiento de la cinta sobre las cabezas magnéticas. Por estas razones su uso se limitó a grabar mensajes hablados y poco más, lo que no deja de recordarnos al primer fonógrafo. El disco entonces ofrecía mucho mejores prestaciones.

El avance más importante que contribuyó a mejorar la calidad de la casete lo constituyó el diseño de un proceso electrónico denominado Dolby que trajo consigo una reducción drástica en el ruido de fondo de la cinta. El inventor americano Raymond M. Dolby abrió un laboratorio en Londres en el año 1966 para producir industrialmente su sistema de reducción de ruido para grabadoras de cinta magnética.

Aunque el procesado electrónico era complicado, pues intervenían varios circuitos en cascada, la idea era de una simplicidad genial: durante la grabación, se incrementaba artificialmente la amplitud de la señal

musical que se encontraba en el rango más afectado por el ruido de la cinta, es decir las altas frecuencias, elevando dicha señal por encima del ruido de fondo; cuando se reproducía, mediante un circuito de desénfasis, los niveles de las frecuencias enfatizadas eran restituidos con sus niveles correctos. El ruido de fondo de la cinta también quedaba reducido en proporciones similares y por lo tanto quedaba enmascarado por debajo del nivel de audición ¹⁷.

La casete compacta, tanto en su forma original aparecida en 1964 como las que se produjeron sucesivamente con los avances y descubrimientos que siguieron, se ha mantenido como el sistema electro-mecánico más versátil y eficaz de grabar sonido en un ámbito doméstico, no profesional. Las características técnicas más importantes son:

Calidad Sonora: sin incrementar la velocidad original de 4.75 centímetros por segundo, las técnicas de grabación actuales, los grandes avances en recubrimientos magnéticos, en los materiales de las cabezas grabadoras y en los sistemas de reducción de ruido, Dolby sobre todo, permiten ofrecer una reproducción sonora al menos similar a la de los discos modernos de vinilo. Puede generalizarse una respuesta en frecuencia entre 50 Hz y 15 kHz y una distorsión armónica inferior al 0,5 %.

Compatibilidad: las grabaciones estéreo-fónicas pueden ser leídas por aparatos monofónicos y viceversa con perfecta inteligibilidad. Las cassetes grabadas con el sistema Dolby (B o C) se pueden reproducir con aparatos que no dispongan de él. Incluso se puede apreciar un realce de las frecuencias agudas en el caso del tipo B.

Seguridad: con un avanzado material sensible de la cinta magnética, superficies internas más suaves basadas en la utilización del teflón, y un mejor mecanizado de los modernos cartuchos, los problemas más comunes con los que inicialmente se encontraba el usuario, como por ejemplo la rotura de la cinta o el enrollamiento anómalo en el sistema de transporte, han sido virtualmente eliminados.

Accesibilidad: comparándola con otros soportes de almacenamiento de palabra y música, como por ejemplo el LP, ésta sea quizá una característica negativa. Dado su acceso secuencial a los distintos fragmentos, el tiempo de búsqueda es mucho mayor que en el disco LP que permite un acceso prácticamente instantáneo, incluso visual con bastante aproximación, a cada corte del disco.

Tiempo de reproducción: En un principio un total de una hora, después se ha ido normalizando la casete de 90 minutos (C90) por motivos eminentemente prácticos, al permitir la grabación o copiado de un LP por cada cara. Han aparecido casetes de varias duraciones: C30, C46, C120; ésta última descatalogada por la gran fragilidad de la cinta magnética, que resultaba excesivamente delgada.

Comodidad de uso, fácil almacenamiento y sencillez en la grabación son alguna más de las características que han permitido el liderazgo absoluto de la casete como sistema doméstico, y semi-profesional en ciertos casos, de grabación, reproducción y archivo.

DIGITAL

El hito de la ingeniería de audio más importante en los últimos años, como ya hemos comentado, fue la aparición de la grabación digital mediante modulación de impulsos codificados (PCM). Mediante éste procedimiento cualquier señal analógica puede ser convertida en un código compuesto por una serie de valores que representan números binarios correspondientes a la amplitud de la forma de onda en cada instante.

El procesado completo incluye el muestreado de la señal, en el que se toman muestras del valor instantáneo de la forma de onda a intervalos idénticos muy pequeños definidos por la frecuencia de muestreo; la cuantificación en la que cada muestra se compara con una escala, asignando en cada instante un número de referencia que representa un valor, o nivel de cuantificación; por último dichos niveles se convierten a un código binario que representan formas de onda a modo de impulsos eléctricos o pulsos , en el proceso de codificación.

Aunque la codificación PCM se estableció en 1937, año en que publicó su creador A.H.Reeves el desarrollo teórico, no fue hasta los primeros años 70 cuando comenzaron a aparecer instrumentos comerciales

basados en la técnica digital. Tendrían que pasar 10 años más para que aparecieran los primeros prototipos comerciales de lectores digitales de CD, iniciándose la era de la grabación digital (BENSON, K.B. 1988).

Desde el punto de vista técnico, mediante un proceso objetivo de medidas de audio, y desde el punto de vista subjetivo mediante una escucha crítica, lo más importante de la era digital es que la fidelidad (en el sentido más amplio del término) del sonido grabado y reproducido utilizando la tecnología digital de audio, ha alcanzado un nivel de calidad tal, mejorando en más de 30 decibelios la relación señal-ruido, que ha superado ampliamente los niveles más avanzados, incluso a nivel profesional, de la *tecnología analógica equivalente*.

Esta alta calidad se puede preservar por tiempo indefinido, sin que se alteren los niveles de la señal grabada, manteniéndose idénticos sin que influya la cantidad de veces que se reproduce.

El sistema profesional de grabación sonora analógico, habitual hasta ahora en los estudios, es sustituido por una conversión de la señal en dígitos a través de una computadora y su conversión a un soporte físico, que sigue siendo la cinta magnética de dos pulgadas, mejorada. En teoría, no es posible una degradación de la señal de la cinta por lo que la secuencia digital guardada queda intacta. Las grabaciones numéricas de la técnica PCM se convierten en señal analógica equivalente mediante un

procesador digital-analógico que incorporan los equipos lectores de los distintos soportes y se reproducen de modo similar a través de los sistemas habituales analógicos.

Los ingenieros de audio profesional conocen en profundidad el sistema y la tecnología que implica y han descubierto las ventajas de la manipulación de las señales digitales y su capacidad de procesado a través de ordenador. La edición de fragmentos muy pequeños en una composición musical o la elaboración de efectos especiales, así como la posibilidad de sincronización con otras fuentes digitales audio y video, son algunas de las ventajas que implica sobre el proceso analógico.

Los soportes de grabación digital no requieren que el usuario invierta en un equipamiento diferente en cuanto al sistema de control, amplificación y altavoces. Un disco o cinta digital es reproducible en cualquier lector normalizado y permite incorporarlo en cualquier cadena de alta fidelidad. Sin embargo, ofrece un avance definitivo sobre el LP o la casete: la ausencia de ruido en el sonido grabado, un perfeccionamiento técnico que puede ser apreciado incluso en los equipos Hi-Fi más modestos.

COMPACT DISC

La aplicación de la técnica digital al diseño de un nuevo sistema de grabación y reproducción, utilizando como soporte el disco, supuso un espectacular avance tecnológico y una nueva dimensión para la ingeniería y la industria del audio analógico, cuyos avances eran cada año más costosos y menos significativos.

La idea, expresada en un rudimentario prototipo, y la primera aparición del dispositivo denominado Compact Disc (CD) fue el 17 de mayo de 1978 en las industrias Philips, en Holanda. El prototipo fue descrito como sigue: Entre paréntesis se indican los datos de los CD definitivos aparecidos comercialmente en 1982.(BENSON,K.B. 1988)

Un disco circular de 110 milímetros de diámetro.(120)

Una velocidad lineal constante de 1,5 metros por segundo.(1,4 m/s)

El tiempo de reproducción de hasta una hora.

Una sola cara impresionada (single side).

El material era plástico, con un recubrimiento protector también de éste material.

El método de grabación era el PCM (pulse code modulation o también modulación de impulsos codificados : MIC).

Sistema de codificado, usando un código digital de 14 bits con una relación señal-ruido de 84 dB. (16 bits, 90 dB)

Frecuencia de muestreo : 44,1 kHz.

El rango de frecuencias oscilaba entre los 20 y los 20.000 Hz.

La señal es leída por un diodo láser montado en un armazón que emite y recibe la señal reflejada. No hay contacto físico.

Posibilidad de varias pistas con una diafonía o separación entre señales adyacentes casi indetectable. (2 canales estéreo)

Estaba claro para Philips que se estaban investigando otros sistemas pero aún no se habían hecho anuncios oficiales de éstos descubrimientos por parte de sus rivales. Philips trabajó en estrecha relación con la firma japonesa Sony en el desarrollo de un sistema CD. Era muy importante para estas firmas que, si querían rentabilizar las enormes inversiones que debían dedicar al proyecto, tenían que estar asociados y no ser rivales. Sobre todo para conseguir que el CD diseñado por ellos pudiera llegar a ser un nuevo estándar mundial.

Los máximos avances del CD son la calidad extraordinaria de la reproducción del sonido en comparación con el LP o la cinta analógica y

el casete; un tiempo de reproducción que permite disponer de una hora de duración que puede acomodarse al gusto del oyente sin interrupciones, incluso controlado mediante un sencillo mando a distancia; ausencia de ruido de fondo en sistema de amplificación pues no hay rozamiento entre la unidad lectora y el soporte y, también por esta última razón, mayor durabilidad sin pérdida de calidad.

Permite un control de acceso inmediato a su contenido y es fácilmente manejable. La cara grabada del CD lleva mucha más información adicional de la que es en sí la señal musical: el tiempo de reproducción (transcurrido y que falta) y números de selección que se asemejan a las bandas o pistas en los LP, que son visibles en el frontal del reproductor, el tiempo en el que comienza cada paso; el título del trabajo (en algunos casos), y el movimiento o número de canción que se está leyendo. El micro-procesador que incorpora permite que, además de presentar toda la información disponible, pueda programarse fácilmente el orden de presentación de cada corte, la repetición de los que se definan o, incluso, la duración indefinida de su función de lectura ¹⁸.

Actualmente el desarrollo de la tecnología del CD permite disponer comercialmente de grabadores de CD del tipo WORM (Grabar una vez y reproducir muchas)(RUMSEY, 1992). Incluso está resuelta, técnicamente, la novedad extraordinaria del disco compacto regrabable (CD-E) ¹⁹.

DAT

La cinta magnética digital de audio aparece en el año 1986, basándose en dos técnicas ya establecidas y consolidadas: una es el procedimiento de conversión analógico-digital PCM similar al de los discos compactos y la otra es el esquema mecánico de registro y reproducción, mediante la técnica de cabezas rotatorias, instalada en los magnetoscopios de video (VCR) de los distintos formatos.

Aunque el formato DAT se llegase a normalizar y fuera adoptado por la mayoría de los fabricantes de todo el mundo en el año 86, la protesta internacional de fabricantes de discos y sociedades de autor, alegando que favorecía la piratería y que, como consecuencia, sus beneficios económicos iban a verse seriamente mermados, hizo que la comercialización del DAT sufriera un parón inmediato.

A finales de ese mismo año se concierta una reunión a nivel internacional celebrada en Vancouver (Canadá), con asistencia de los principales implicados: La IFPPV (International Federation of Producers of Phonograms and Videograms) y los principales fabricantes de DAT representados por la EIAJ (Electronic Industry Association of Japan).

Se propuso como solución incorporar en los aparatos grabadores un circuito electrónico anticopia creado por la empresa multinacional CBS, que impidiera las copias ilegales ;pero franceses y japoneses no lo admiten al vulnerar el derecho del usuario de los sistemas electrónicos de audio a realizar copias para uso privado. A pesar de todo en los primeros meses del año 87 se ponen a la venta magnetófonos DAT, que no consiguen llegar a introducirse plenamente en el mercado, sobre todo de ámbito doméstico, al no contar con el beneplácito de la poderosa Federación Internacional de Productores de Audio y Video.

El DAT, sin embargo, ha sido muy bien aceptado en el ámbito profesional y se han desarrollado cuantos elementos técnicos imponen su uso en éste campo: procesadores de señal, editores electrónicos y mezcladores; incorporando los códigos digitales de reconocimiento para trabajar en sincronización con los sistemas de video digital.

Los equipos de registro y lectura trabajan con una densidad de información muy elevada, por lo que las casetes digitales requieren un recubrimiento metalizado mucho más sensible y denso que las casetes convencionales. Como consecuencia el proceso de fabricación es algo más complejo al no poder permitirse fallos que aumenten la tasa de errores en un proceso de grabación que prácticamente no los tiene. Las partículas de polvo también influirían en la grabación de las señales por lo que la casete

digital puede decirse que es hermética.

La frecuencia de muestreo en el procesado PCM puede ser elegida en función de la utilización que se vaya a hacer de la grabación. Dicha frecuencia puede ser de 48 kHz, 44,1 kHz y 32 kHz . Esta elección modificará el ancho de banda y por tanto la cantidad de información disponible. En el ámbito profesional se utilizan los 48 kHz, que proporciona una banda de frecuencias de audio entre 5 Hz y 20 kHz. La frecuencia de muestreo de 44,1 kHz es idéntica a la de los CD y se utiliza para trabajar en éste campo, permitiendo copiar de digital a digital, sin pérdidas, conservando íntegra la información. Los 32 kHz de frecuencia de muestreo nos permite un ancho de banda entre 5 Hz y 14 kHz, reservada para cierto tipo de sincronismos con video, para análisis de voz y palabra y para grabaciones tipo reportaje, con elementos portátiles.

Teniendo en cuenta la precisión requerida para el tratamiento digital de la elevadísima cantidad de datos con los que trabaja el sistema, lleva incorporado en los circuitos de conversión analógico-digital un algoritmo matemático de corrección de errores por interpolación entre dos señales adyacentes que , con gran calidad, reconstruye la señal deteriorada.

LAS NUEVAS TECNOLOGIAS: DCC y MD

Durante los últimos meses del año 1992 se espera la presentación internacional de dos nuevos grabadores digitales que van a significar un grado de evolución importante en el ámbito de las técnicas que aquí estamos estudiando. Son el Digital Compact Cassette y el Mini Disc.

El casete compacto digital (DCC) de Philips mantendrá las dimensiones perimetrales, el ancho de cinta y los rodillos de arrastre similares a los de las cassetes convencionales. Basándose en estos datos su característica más importante quizás sea la de que el equipo reproductor permitirá leer ambos tipos de casete indistintamente.

Entre sus innovaciones técnicas más destacables es preciso mencionar la incorporación de un potente algoritmo matemático de compresión de datos en el procesado digital de las señales sonoras.

El proceso de Sub-Codificación de Precisión Adaptable (PASC) supone fundamentalmente un ahorro de cantidad de información necesaria para obtener las magníficas prestaciones del equipo, manteniendo algo tan importante para simultanear ambos sistemas como es la velocidad de desplazamiento de la cinta que sigue siendo de 4,76 cm/s, es decir, la

misma velocidad que los reproductores convencionales.

La relación de compresión de datos es del orden de 4:1 y está basada en parámetros definidos por los más recientes estudios de psicoacústica que han delimitado con bastante precisión los procesos de enmascaramiento interfrecuencial de las señales sonoras, los cuales llegan a modificar la percepción de nuestro sistema auditivo. Aunque el esquema operativo del PASC es de una gran complejidad, su fundamento radica en que trata de imitar el proceso de discriminación que realiza el oído cuando en un recinto ruidoso puede seleccionar sonidos que le interesan y evitar las interferencias del resto considerados redundantes.

El mini disco (MD) desarrollado por Sony significa un nuevo concepto en la grabación de señales sonoras, basado en los procesos de tratamiento de datos informáticos y en las tecnologías de registro y reproducción que combinan técnicas magnéticas y ópticas.

Un disco MD permite ofrecer la misma cantidad de información que un disco CD, es decir, una autonomía del orden de 60 minutos, siendo su tamaño prácticamente la mitad (6,4 cm). Esto se consigue mediante un sistema de compresión de datos que se basa en un procesado digital de la señal similar al PASC.

El dispositivo ATRAC (Adaptative Transform Acoustic Coding) es capaz de simplificar la complejidad de una señal sonora, obteniendo una

relación de compresión del orden de 5:1.

El mini disco incorpora además un procedimiento de recuperación de datos que pudieran perderse por errores de lectura motivados por golpes o vibraciones en el aparato grabador-reproductor. Dado que el proceso de grabación se realiza mediante la técnica MO (Magneto-Optica), en la que la superficie del disco está formada por una capa magnética de ferrita y cobalto cuyos cristales se orientan, en función de la señal, mediante un fotodiodo láser; es evidente que dicho proceso es susceptible de fallos de lectura por desviación del haz de luz. Este dispositivo, denominado "Shock Proof Memory", se basa en una memoria de refresco que almacena los tres últimos segundos de datos. Si el aparato reproductor MD sufre un golpe fuerte o una vibración acusada, la señal que se graba es la de la memoria tampón, en vez del láser de registro. El direccionamiento es de gran precisión y permite un acceso a las distintas secciones del disco con gran rapidez y con carácter aleatorio.

En la página siguiente podemos ver una tabla resumen comparativa de las características básicas de alguno de los sistemas más significativos.

Tabla comparativa analógico - digital

	LP	CINTA	CASETE	CD	DAT	DCC	MD
<i>REGISTRO</i>	Analog	Analog	Analog	Digital	Digital	Digital	Digital
<i>RESPUESTA EN FRECUENCIA</i>	35 Hz- 17 kHz ±3 dB	20 Hz - 18 kHz ± 3 dB	40 Hz - 14 kHz ± 3 dB	2 Hz - 20 kHz ± 1 dB	5 Hz - 22 kHz ± 1 dB	5 Hz - 20 kHz ± 1 dB	5 Hz - 20 kHz ± 1 dB
<i>DINAMICA</i>	70 dB	73 dB	65 dB	95 dB	98 dB	105 dB	105 dB
<i>SEÑAL-RUIDO</i>	60 dB	68 dB	60 dB	≥ 90 dB	≥ 90 dB	≥ 96 dB	≥ 96 dB
<i>DISTORSION ARMONICA</i>	2 %	0,5 %	0,5 %	0,005 %	0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %
<i>DIAFONIA</i>	30 dB	50 dB	40 dB	90 dB	90 dB	90 dB	90 dB
<i>LLORO Y FLUCTUACION</i>	0,03 %	0,03 %	0,1 %	No Medible	< 0,01 %	No Medible	No Medible
<i>TIEMPO REG.</i>	45 min	30 min	90 min	80 min	120 min	90 min	74 min

Evolución de los sistemas de grabación

Decíamos al principio del capítulo que para hablar de los sistemas o procedimientos de grabación era necesario estudiar previamente la historia y el desarrollo de las técnicas que son inherentes a los sistemas a los que van configurando.

Es entonces ahora el momento de iniciar el estudio de los sistemas que han ido apareciendo con intención de captar , en una grabación, la sensación auditiva del instante grabado para poder recrearla, en otro instante y en otro lugar, mediante un proceso de reproducción.

Vamos a enumerar los sistemas de grabación conocidos más interesantes, junto a una somera descripción, para después estudiar con más detalle los que se consideran más importantes.

MONOFONICO

Fue el primero de los sistemas de grabación y reproducción, pero no era nombrado de ninguna manera hasta aparecer el sistema estereofónico y para distinguirlo de éste. Un sistema monofónico consiste en reproducir

la señal de un micrófono a través de un altavoz (o más) en una sala de escucha. Son las propias características de la sala las que favorecen o anulan la sensación de ambiente y lo hacen mediante la reverberación que introducen sus paredes.

MONOAURAL

La señal de un micrófono se reproduce a través de un auricular único que el oyente coloca en uno de sus oídos. Es el tipo de reproducción de sonido utilizado en el teléfono y en algunos experimentos de psicoacústica (ZWICKER, 1981).

DIOTICO

El oyente recibe la información, grabada mediante un único micrófono, a través de dos auriculares, uno para cada oído. Nombre dado para distinguirlo de monoaural y sistema de reproducción utilizado sobre todo para ensayos clínicos de audición y obtención de respuestas audiométricas.

BINAURAL

Este sistema utiliza dos micrófonos para grabar dos canales, que son reproducidos a través de dos auriculares. Normalmente los micrófonos están situados en el interior de las orejas de una "cabeza artificial" con la intención de reproducir las características de direccionalidad del sistema auditivo humano (LACKNER, 1983).

ESTEREOFONICO

El sonido es captado mediante dos (o más) micrófonos y reproducido a través de dos altavoces en una sala de escucha. La diferencia con respecto al sistema binaural es que el sonido emitido por los dos altavoces es escuchado a la vez por los dos oídos pero con intensidades y fases diferentes. Más adelante, en un apartado específico, veremos con más detalle este sistema de grabación y reproducción, así como los que se citan a continuación.

PSEUDO-ESTEREOFONICO

A partir de una señal única, monofónica, se generan electrónicamente dos señales diferentes que van a ser reproducidas a través de dos altavoces en una sala de escucha. Este sistema intenta reproducir las características de espacialidad que recrea la estereofonía; de ahí su nombre.

CUADRAFONICO

Existen varios sistemas como veremos más adelante. Básicamente el sonido es recogido mediante cuatro micrófonos, codificado a dos canales para poder ser grabado en disco y decodificado posteriormente para reproducirlo a través de cuatro altavoces.

AMBIFONICO

La tecnología que utiliza este sistema intenta reproducir las condiciones ambientales del lugar donde se efectúa la grabación sin limitación específica de los canales de recepción (micrófonos) ni de los de reproducción (altavoces). Introduce para ello, al igual que la cuadrafonía,

circuitos que codifican y decodifican las señales grabadas.

HOLOFONICO

Este reciente sistema de grabación y reproducción introduce una codificación especial de los sonidos a través de una "cabeza artificial" capaz de grabar o transmitir directamente dos canales estereofónicos con intención de recrear la dimensión espacial del lugar y de la acústica que introduce.

R.S.S. SONIDO ESPACIAL

El prototipo de éste sistema, en periodo de desarrollo, lo ha presentado técnicamente la firma Roland en el último trimestre de 1991. Ofrece la posibilidad de codificar hasta cuatro fuentes discretas de sonido de alta fidelidad, a nivel profesional, introduciendo valores relativos a fases y amplitudes correspondientes a los planos sonoros horizontal y vertical. Realiza el procesado en tiempo real, en el momento de introducir los códigos correspondientes en la grabación, permitiendo la reproducción sin necesitar ningún tipo de decodificador.

De todos éstos sistemas, mencionados someramente, vamos a estudiar con mayor amplitud los que han conseguido una mayor relevancia en la historia de la grabación sonora y los que, por sus especiales características, representan un elemento diferencial para éste trabajo. Son: Estereofónico, cuadrafónico, ambisónico, holofónico, espacial y pseudo-estereofónico,.

ESTEREOFONICO

La palabra "estereofónico" deriva del griego Stereos = sólido y de phonos = sonido. Quiere indicar un método de reproducción sonora que ofrece al oyente, a través de dos fuentes sonoras distintas o canales separados, una sensación de profundidad espacial, direccionalidad y realismo sonoro similar al de una experiencia auditiva en una sala de conciertos real ²⁰.

Un científico colaborador de la compañía English Columbia, desarrolló en sus laboratorios el primer experimento con éxito sobre la grabación en sonido estereofónico. La patente fue presentada en Diciembre de 1931 por éste ingeniero llamado Alan D. Blumlein e inscrita en el registro con el número 394325.

El sistema de Blumlein captaba el sonido mediante dos micrófonos equidistantes y la grabación debía escucharse a través de dos altavoces que estuvieran separados tres metros, y sus ejes debían formar un ángulo recto. El oyente, situado entre los dos altavoces, podía escuchar auténtica estereofonía mediante dos canales independientes. En la primeras experiencias se utilizaron discos con dos surcos separados, grabando las señales individuales de dos micrófonos, cada una en un surco. El brazo fonocaptor de lectura disponía de dos agujas, cada una con su cápsula transductora independiente.

Sin embargo ya en la patente de Blumlein se perfilaban dos posibles métodos de contener dos canales de sonido en un solo surco. El método "VL" (vertical y lateral) era una combinación del sistema de corte para el cilindro vertical de Edison y el sistema de corte de disco lateral de Berliner, por medio del cual el movimiento vertical llevaba un canal y el movimiento lateral llevaba otro. El otro sistema, llamado "45/45" era similar con la diferencia de que en éste, ambos canales estaban inclinados entre sí hasta un ángulo de 45 grados. Este último fue el que luego se adoptó como un estándar por la industria en 1958, y el que se ha mantenido hasta ahora.

El organismo encargado de sancionar las cuestiones técnicas relacionadas con los sistemas de grabación era la RIAA, Recording Industry Association of America, y sus decisiones eran acatadas por todos los

fabricantes e impuestas al resto del mundo por el poder del mercado. La curva RIAA, que realza las frecuencias graves y atenúa las frecuencias agudas, está presente como circuito preamplificador electrónico a través de la entrada "Phono", en cuantos amplificadores se han fabricado desde los primeros años 60, hasta ahora, en todo el mundo. La RIAA es la curva inversa a la introducida en los LP en el momento de la grabación de los discos "master". Su objetivo es reducir la amplitud de las oscilaciones de baja frecuencia, que obligarían a la aguja a realizar desplazamientos peligrosos con incremento de la distorsión. Esta señal, al pasar por el filtro inverso RIAA del preamplificador, se le restituyen sus características en función de la frecuencia y el resultado no es detectable por el oído ²¹.

Va a ser la industria cinematográfica la que va a utilizar el sonido estererofónico por primera vez con fines comerciales: el film francés "Napoleón", la obra maestra de Abel Gance, fué realizada entre 1923 y 1927. Pero en 1935 se le añaden los diálogos así como efectos especiales de sonido utilizando el sistema de dos canales estéreo.

La primera película con sonido estereofónico fue "Fantasía" de Walt Disney, en 1941. Su exhibición resultó un espectáculo al emplear el sistema de multiples altavoces desarrollado para el cine por Altec Lansing Corporation y la RCA. La música fue dirigida por Leopold Stokowsky ²², director también, como ya mencionamos, de los experimentos radiofónicos

de las industrias Bell en 1932.

Una mirada retrospectiva sobre nuestro entorno sonoro nos remite de nuevo a los tiempos del hombre primitivo, donde el oído era un órgano que eminentemente servía para poder advertir de la inminencia de un peligro o ayudar a encontrar alimento. El valor de semejante dispositivo avisador o de tal ayuda resulta evidentemente mayor al añadirsele una indicación de dirección. En nuestros tiempos, la función de advertencia para percibir la dirección es también muy importante; baste pensar en el tráfico, para el cual se recurre a los sonidos de los "claxons" y timbres de motocicletas y automóviles. En los primeros discos grabados mediante el sistema estereofónico que aparecieron en el mercado se recurría insistentemente a este elemento avisador, y baste mencionar a este objeto la predilección por registrar el ruido de trenes que pasaban con todo su estrépito de izquierda a derecha o viceversa. Hoy día parece evidente que la significación real de la reproducción estereofónica se encuentra en el campo artístico. Se crea la posibilidad de identificar los instrumentos de una orquesta, las voces de unos cantantes o los ruidos ambientales de una representación. No sólo en cuanto a la altura y el timbre del sonido se refiere, sino también por su dirección y distancia aproximada, lo que en conjunto llega a configurar una sensación de espacialidad.

Sin embargo esta idea no es del todo reciente. En las referencias

históricas de distintos autores (FRANSSEN 1963, CONDAMINES 1978) podemos encontrar algunos ejemplos: En la ciudad de Venecia en 1550, el compositor holandés Adriaan Willaert dispuso dos coros separados, uno a cada lado de la iglesia, tratando de "arropar estereofónicamente" con los cánticos sagrados a sus piadosos oyentes. Los órganos de la época barroca contenían tres secciones distintas, dispuestas en tres lugares diferentes que "envolvían" a los fieles; los nombres de estas secciones correspondían a su emplazamiento: gran caja de órgano, consola y parte trasera. Durante la primera ejecución de su "Requiem" en la bóveda de Los Inválidos, el gran Berlioz dispuso en las cuatro esquinas de la misma, cuatro orquestas separadas, simbolizando así "...los ángeles que convocaban en las cuatro direcciones de la rosa de los vientos a los muertos en el juicio final". La intención era, como se ve desde hace siglos, añadir elementos que potenciaran la sensibilidad binaural del oído humano y los nuevos sistemas de grabación y reproducción lo permiten.

Conociéndose que, en condiciones normales, el sistema auditivo determina la sensación de dirección partiendo de las diferencias existentes entre los dos oídos, es evidente que deben conservarse esas diferencias durante la transmisión. El resultado puede ser obtenido, y los primeros intentos así lo sugieren, (FRANSSEN, 1963, p. 44) disponiendo delante de las fuentes sonoras (de una orquesta por ejemplo) una cabeza artificial que

contenga en el emplazamiento de los oídos unos micrófonos, unidos convenientemente a unos auriculares situados en otro lugar. Se hace posible así transmitir una buena impresión de dirección. Este método de reproducción presenta, sin embargo, algunos inconvenientes. Para la proyección hacia el exterior, los movimientos de la cabeza respecto a las fuentes sonoras son muy importantes. Ahora bien, en el caso de una reproducción mediante auriculares, la orquesta imagen sigue todos los movimientos de la cabeza, y por ello, la sensación no es que la orquesta se extiende en profundidad, sino que se concentra en la misma cabeza o aparentemente debajo de ella.

Es evidente la aparición de otro problema; es el debido a la presencia hipotética de numerosos oyentes que haría necesario disponer de la cantidad correspondiente de auriculares. Por esta razón es por la que se llega a reemplazar los auriculares individuales por reproductores comunes; así se llega a la instalación de altavoces, uno a la derecha y otro a la izquierda, equidistantes ambos y enfrentados al oyente. Cada oído recibirá, de este modo, la señal proveniente de los dos altavoces y aunque a primera vista se esperaba que se esfumara el efecto estereofónico sin embargo no sucede así en modo alguno; la transmisión estereofónica es plenamente satisfactoria. Este procedimiento de registro y reproducción a través de cabeza artificial, auriculares y posteriormente altavoces fué introducido en

su tiempo por de Boer (BOER de, 1940) y fué muy popular al principio de la estereofonía, pero estaba hasta hace poco en un segundo plano. Lo ha actualizado el procedimiento de grabación y reproducción por el sistema holofónico (Ver apartado posterior: Holofonía).

Para la realización de la transmisión estereofónica del sonido sigue Fletcher (op. cit.,1941) otro razonamiento: Supone que los locales de grabación y reproducción son perfectamente idénticos. En la sala de registro, una pantalla suspendida, recubierta de un número infinito de micrófonos; en la sala de reproducción habrá, de manera análoga, otra pantalla con igual número de altavoces, estando cada uno de ellos unido a su micrófono correspondiente. Esta combinación de micrófonos y altavoces reproduce entonces exactamente las presiones acústicas de las ondas sonoras que franquean la cortina de la sala de reproducción. En la práctica, semejante instalación es irrealizable; por esa razón Fletcher llega a simplificar su configuración con tres micrófonos y tres altavoces. Por razón similar dicho sistema se ve reducido a dos micrófonos y su correspondiente par de altavoces, mantenidos, eso sí, en salas idénticas. Este arreglo consigue asegurar también una reproducción estereofónica satisfactoria. No obstante, si se considera como exacta la explicación inicial de Fletcher, el resultado puede parecer sorprendente. En efecto, la imitación del punto de vista inicial con la ayuda de tan sólo dos micrófonos y dos

altavoces, es tan simple que en realidad se espera conseguir un resultado francamente mediocre. Lo cierto es que el resultado es por completo equivalente al obtenido por de Boer, aunque en los dos casos los métodos de registro hayan sido completamente diferentes.

Los dos sistemas contienen, a pesar de todo, puntos en los que se corresponden. Disponiéndose de una cabeza artificial colocada entre los micrófonos o separándose de estos últimos una gran distancia, las diferencias de nivel y de tiempo se producirán entre esos micrófonos y, por lo mismo, también entre los altavoces.

En la localización natural por el oído, las diferencias de nivel y de tiempo entre los dos oídos son las magnitudes más importantes que determinan la dirección. En la actualidad se comprueba que para la reproducción estereofónica, las diferencias de nivel y de tiempo entre los altavoces aseguran la impresión estereofónica, siempre que se conserve la relación de fase correcta entre ambos.

Desde las primeras investigaciones sobre la transmisión de la estereofonía hasta hoy, ha variado, sobre todo en función de la evolución tecnológica, la disposición de los micrófonos al efectuar la toma de sonido. Cada una de ellas ofrece resultados diferentes, distinguibles, en cuanto a la percepción de las variables que se quieren transmitir. Se pueden establecer hasta siete procedimientos de colocación de micrófonos, según podemos

ver a continuación:

1. Sistema XY.

Consiste en colocar dos micrófonos cardioides coincidentes en un punto, con su eje de máxima respuesta formando un ángulo de 135 grados aproximadamente.

2. Sistema ESTEREOSONICO.

Dos micrófonos de velocidad, coincidentes, con sus ejes formando un ángulo de 90 grados.

3. Sistema MS.

Dos micrófonos coincidentes, uno cardioide enfrentado a la fuente sonora y otro de velocidad opuesto al primero. La suma y la diferencia de las señales obtenidas de estos micrófonos quedan grabadas en el canal derecho e izquierdo respectivamente.

4. Sistema ORTF.

Dos micrófonos cardioides separados 17 cm. con sus ejes de máxima respuesta formando un ángulo de 110 grados. Es el sistema utilizado

por la Radiotelevisión Francesa.

5. Sistema NOS.

Dos micrófonos cardioides separados 30 cm. con sus ejes de máxima respuesta formando un ángulo de 90 grados. Sistema utilizado por la Radiotelevisión Alemana.

6. Sistema PANORAMICO.

Cinco micrófonos cardioides separados en total 2,85 m. Las señales obtenidas de este modo son mezcladas hasta obtener dos canales estereofónicos.

7. Sistema BLUMLEIN.

Dos micrófonos de respuesta bidireccional, coincidentes, formando entre sí un ángulo de 90 grados.

En el año 1971 un grupo de oyentes expertos, seleccionados de entre los miembros de la Audio Engineering Society of América, realizaron pruebas exhaustivas escuchando grabaciones efectuadas con cada uno de los seis primeros sistemas presentados aquí. Los resultados (CEOEN, 1971),

presentados en la convención anual de la A.E.S., demostraron que el sistema que mejores resultados podía ofrecer era el sistema ORTF.

Los sistemas de disposición de micrófonos, referidos antes, no han variado sustancialmente y la aparición en el mercado de micrófonos estereofónicos cada vez más mejorados no hacen sino reproducir alguna de las configuraciones ya reseñadas.

En lo que respecta a la reproducción estereofónica del sonido sucede con frecuencia que los oyentes no están de acuerdo en cuanto a distinguir si un determinado instrumento musical está situado en el centro, a la derecha o a la izquierda de la orquesta. En la localización natural por el oído, dicha divergencia es mucho menos frecuente. A veces, incluso en casos no patológicos los dos oídos de un oyente no tienen la misma sensibilidad (SEBASTIAN, 1967); en la localización natural por el oído tal oyente corrige inconscientemente la impresión de dirección. Además, los movimientos de la cabeza le ayudan a controlar la posición percibida.

Surge una pregunta: ¿Esta corrección inconsciente puede ser posible también en el caso de la reproducción estereofónica?. La respuesta dada por investigaciones realizadas en este sentido (GUIRAO 1980, SCHIFFMAN 1981) demuestran que tal corrección es mucho más imprecisa. Esta explicación queda corroborada por el hecho de que las personas sordas de un oído son capaces de localizar mediante el oído sano durante la escucha

normal, pero no sienten sensación alguna de dirección cuando escuchan una reproducción estereofónica.

Hemos repasado brevemente algunas ideas elementales sobre la percepción de la dirección y la sensación de espacialidad durante la reproducción estereofónica del sonido. Este no es, sin embargo, el único objetivo ni puede ser tampoco lo esencial de la estereofonía. Es una pequeña conquista cerciorarse de que en la orquesta estén colocados los violines a la izquierda y las trompetas a la derecha. Es mucho más importante poder darse cuenta de cada uno de los sonidos separadamente y obtener con ello una mayor transparencia y definición de la totalidad de la imagen auditiva percibida.

El mejor aparato de alta fidelidad de un solo altavoz, difícilmente podría llegar a ofrecer una reproducción espacial mejor que a través de un sistema estereofónico. Sería como escuchar una orquesta a través de un agujero en la pared o abrir un gran ventanal. La impresión total que se obtiene de esta manera es mucho más importante que poder asegurar a qué lado se encuentran los violines. Es la búsqueda de la sensación de estar inmerso en un ambiente sonoro que no parezca limitado por las paredes de la sala donde se lleve a cabo la audición.

CUADRAFONICO

La técnica del sistema cuadrafónico, también llamado estereofónico de cuatro canales, consiste en la grabación de cuatro canales independientes de sonido que se amplifican por separado y se reproducen simultáneamente. Cada uno de ellos se envía a través de una pantalla acústica, dos de las cuales deben disponerse frente al oyente y las otras dos a sus espaldas, esto al menos teóricamente. Esta disposición de los altavoces colocados en los vértices de un cuadrado imaginario, ha dado el nombre de cuadrafonía (quadrafonic) a este sistema con cuatro canales. El nombre de cuadrafonía ha sido aceptado internacionalmente y no parece que haya dificultades para aplicar este término al castellano, siendo también válido hablar de estereofonía a cuatro canales al referirnos a éste sistema. La cuadrafonía es, además, una técnica de grabación y reproducción del sonido que, a diferencia de la estereofonía, no llegó nunca a conseguir un sistema homologado único que suprimiese los inconvenientes de la incompatibilidad entre los tres procesadores fundamentales que llegaron a

establecerse, denominados: Discreto, Matricial y Sintético.

1. DISCRETO.

Llamado también 4-4-4 por presentar cuatro canales de sonido tanto en la grabación y en el soporte (cinta, disco), como en la reproducción.

2.MATRICIAL.

Llamado sistema 4-2-4 al presentar el soporte codificado en dos únicos canales. Se mantienen los cuatro canales en grabación y en reproducción.

3.SINTETICO.

Denominado sistema 2-2-4 al presentar cuatro canales sólo en el momento de la reproducción.

Vamos a estudiar cada uno de ellos con mayor amplitud atendiendo a las variables técnicas diferenciales.

DISCRETO

Este sistema consiste en la grabación de cuatro canales separados y fue el primero de los sistemas que apareció bajo la denominación técnica de cuadrafónico, siendo presentado en cinta magnética; más adelante apareció en disco. El motivo de que el primer soporte para la información cuadrafónica fuese la cinta se debió a que para los fabricantes era mucho más sencillo introducir cuatro canales independientes de sonido en forma de pistas separadas (similar a la técnica estereofónica) en una cinta magnética. Tan solo fue necesario duplicar el número de cabezas de grabación y reproducción. La información así grabada en una cinta magnética se reproducía mediante el cabezal adecuado y era amplificado mediante cuatro amplificadores que enviaban señales separadas a cuatro pantallas acústicas. Para los fabricantes de discos, la técnica necesaria para el sistema cuadrafónico resultó un auténtico desafío. Era necesario añadir dos canales más en un surco que sólo disponía de dos vertientes. La JVC

(Japan Victor Company) fué la primera firma comercial que presentó un disco de cuatro canales "discrete", es decir, separados. Básicamente el sistema consiste en grabar los dos canales frontales en la forma de las tradicionales grabaciones estereofónicas, mientras que las señales correspondientes a los canales posteriores se grababan moduladas en frecuencias ultrasónicas entre 22,5 kHz y 45 kHz. Para inscribir estas frecuencias se modulan en una señal portadora a la frecuencia de 30 kHz que, posteriormente, es demodulada por un circuito Multiplex de la misma manera que lo es una señal de FM estéreo. Los resultados así obtenidos son muy similares a los de la cinta magnética, incluso conservando la necesaria separación entre canales. La reproducción de un disco cuadrafónico "discreto" requiere una cápsula fonocaptora especial que sea capaz de leer frecuencias que alcanzan los 45 kHz, además de poder trabajar con una fuerza de apoyo mínima para evitar el desgaste de la banda de 30 kHz. Este tipo de disco cuadrafónico permite una compatibilidad total con los sistemas de reproducción estereofónicos, debido a que la información de los canales frontales se graba según la técnica normalizada de los discos fonográficos estereofónicos. La japonesa JVC y la americana RCA fueron las únicas firmas comerciales que adoptaron el sistema y lo siguieron desarrollando.

MATRICIAL

Este sistema efectúa la grabación de los cuatro canales en las dos vertientes del surco del disco utilizando tan sólo la gama audible de frecuencias (30-16.000 Hz), a diferencia del sistema discreto. Dicha grabación se lleva a cabo mediante un proceso de codificación que introduce un circuito electrónico (matrix o matrixed). Este circuito distribuye las cuatro señales originales según unos valores predeterminados de fase e intensidad y los transfiere a dos canales de sonido que son los que se copian en el disco fonográfico siguiendo el mismo proceso que para las grabaciones estereofónicas. En el proceso inverso, es decir en la reproducción, el surco es recorrido por una cápsula fonocaptora normal -de las usadas para estereofonía- y las señales así leídas vuelven a ser pasadas por un circuito electrónico, esta vez decodificador que restituye de nuevo los cuatro canales de sonido originales. El paso inmediato es la amplificación de dichos canales que en este caso se efectúa del mismo

modo que en el sistema anterior, esto es amplificando las cuatro señales a través de sus respectivos amplificadores y direccionando cada una a su respectiva pantalla acústica.

Aunque en su momento llegaron a aparecer hasta quince sistemas cuadrafónicos que utilizaban ésta técnica, la diferencia entre ellos estaba, tan sólo, en el cálculo matemático aplicado en el circuito matriz de grabación y en el de su correspondiente decodificador. Sin embargo la técnica empleada era básicamente idéntica: Se trata de aplicar un determinado grado de desfase a la señal sonora en el momento de su grabación que puede oscilar entre 45 y 270 grados y, simultáneamente, se aplica una determinada diferencia de intensidad entre las señales que deben ser localizadas en un canal respecto al otro y entre las señales que deben ser localizadas en los altavoces frontales y los posteriores. En el primer caso dicha diferencia oscila entre 3 y 6 dB (entre canales); en el segundo caso puede alcanzar los 20 dB (delanteros-traseros).

Podemos destacar, de entre la extensa gama de sistemas matriciales que se fabricaron, a los que obtuvieron mayor resonancia y aceptación:

SQ. Desarrollado por la firma "Columbia Broadcasting Systems" en colaboración con la firma SONY.

RM. Según normas dictadas por el "Comité de Industrias de

Grabación" de Japón.

QS. Desarrollado por la industria SANSUI. Muy parecido al anteriormente citado RM.

A pesar de que, tanto estos como otros no nombrados aquí por su menor relevancia, pretendían ser compatibles con todos los demás, lo cierto es que cada sistema matricial obtiene un resultado óptimo cuando reproduce discos grabados según sus propias técnicas.

Durante los años 1972-73, en el Instituto de Acústica del CSIC, se estudiaron exhaustivamente las características técnicas que definen el sistema cuadrafónico. Se probaron cuantos equipos comerciales se distribuían en España en aquél momento (JVC, SONY y SANSUI) y sus correspondientes grabaciones en disco LP y en cinta magnética.

Paralelamente se desarrolló un prototipo electrónico basado en el sistema de procesado matricial que dió lugar a un laborioso trabajo fin de carrera presentado en el año 1973 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid ²³.

SINTETICO

Rigurosamente hablando no puede decirse que éste sistema sea cuadrafónico. De hecho, en el resultado obtenido, no se han grabado ni codificado dos nuevos canales. El sistema se basa en recoger las diferencias de fase e intensidad entre los dos canales de una señal estereofónica y el resultado aplicarlo, previamente amplificado, a dos nuevas pantallas acústicas, con lo que se intenta obtener una audición con el efecto de cuatro canales.

Si el sonido estéreo llegó a ser un éxito con sólo dos canales, para la industria de la grabación cuatro canales deberían ofrecer el doble de calidad y prestaciones. De ese modo, el sonido cuadrafónico nació en los finales de la década de los 60. Para utilizarlo, el comprador debería adquirir un amplificador de cuatro canales y dos altavoces adicionales, suponiendo que ya tuviera dos elementos. Estos últimos debían situarse en las esquinas de la sala de escucha, detrás del oyente, equilibrándolos con los que se situaban enfrente. Con este conjunto de altavoces se intentaba que fuera posible imitar el ambiente de una sala de conciertos con mayor realismo que la estereofonía.

Los primeros dispositivos codificadores para realizar grabaciones con

cuatro canales se cree que fueron hechos por Acoustic Research, Boston, Mass, cerca del año 1968.

La compañía CBS apostó por la grabación de sus discos en el sistema SQ. La compañía EMI adoptó el sistema matricial de la CBS para sus primeros lanzamientos "quad" en Marzo del 72. Sin embargo PYE y otras compañías importantes optaron por el sistema rival -e incompatible- Sansui QS. Con la confusión en el mercado de cual iba a ser el estándar definitivo, el interés por la nueva maravilla se fué diluyendo. Además, el desembolso financiero para el desarrollo de este sistema parecía elevado y la industria de la grabación, ya entonces multinacional, solo apostaba sobre seguro. Otro inconveniente importante, desde el punto de vista del consumidor, era que la posición ideal de los altavoces estaba en conflicto con la mayoría de las habitaciones de escucha.

Al hablar en el apartado anterior sobre la estereofonía decíamos que, comparada con la monofonía, era como abrir un ventanal en la sala de conciertos, en vez de un único agujero. En el caso de la cuadrafonía, y siguiendo con la comparación, podríamos decir que es como abrir otro ventanal, este detrás de nosotros, que nos permita escuchar las reflexiones de la sala y el ambiente creado por las paredes traseras junto el del público que, en una audición real, estaría a nuestras espaldas. La consecuencia más inmediata que se puede percibir es la de un notable aumento de la

sensación de "espacialidad" en la reproducción y desde luego una sensible mejora sobre la reproducción estereofónica. El porqué de que el sistema cuadrafónico, hoy día, no tenga en absoluto relevancia se debe a factores sobre todo comerciales y en cierta medida estéticos. En el primer caso, influyeron las poderosas empresas del mundo del disco que no consiguieron llegar a ponerse de acuerdo para normalizar la enorme avalancha de sistemas y técnicas que aparecían cada día en el mercado. Normalización que sí había conseguido el sistema estereofónico. Por otro lado, cuatro canales en el proceso de reproducción suponen la necesaria utilización de cuatro altavoces y sus respectivos cuatro amplificadores. Para los potenciales audiófilos de la cuadrafonía, esto suponía duplicar el gasto en la compra del equipo de reproducción. Estaba además el problema estético y funcional en el momento de colocar cuatro fuentes de sonido alrededor del oyente, lo que suponía alterar, en la mayor parte de los hogares, la disposición de la sala de audición (habitualmente la sala de estar). Estas razones, además de otras posibles económicas o sociológicas que se nos escapan, llegaron a influir directamente en el ahondamiento de la crisis del sistema cuadrafónico que fue, poco a poco, desapareciendo de los circuitos comerciales. Hoy día los sistemas reproductores cuadrafónicos no pasan de ser recuerdos agradables de audiófilo, referencia obligada del estudioso o quizá piezas de coleccionista.

AMBIFONICO

La reproducción monofónica proporcionaba información sobre la dirección y la distancia pero solamente de una manera implícita, a través del ambiente recogido en la toma de sonido. El sistema estereofónico significó añadir información explícita sobre la dirección pero en un sector frontal no mayor de 60 grados respecto del oyente. Después de la estereofonía, la técnica ha continuado evolucionando y se ha ido desarrollando en función de diversas posibilidades, tales como:

- Utilizando más pantallas acústicas.
- Mediante el uso de más canales de comunicación.
- Sacando mejor partido del número disponible de altavoces y/o canales dentro del sistema.
- Ampliando la información direccional desde los 60 grados del sistema estereofónico hasta incluso los 360 grados ; envolviendo al oyente en el plano horizontal o, porqué no, dentro de una esfera completa que añadiría información sobre la altura espacial en la reproducción.

El sistema ambifónico pretende combinar todos estos factores e integrarlos en un todo homogéneo, según una filosofía particular sobre la

audición que básicamente parte de la idea de que en la vida ordinaria estamos "bañados" por sonido que nos llega desde todos los puntos a nuestro alrededor y nos envuelve en la mayoría de las situaciones en nuestro medio ambiente acústico. Nuestro sistema auditivo, que está acostumbrado a vivir con esta sensación, nota enormemente su falta cuando, por ejemplo, nos introducimos en una cámara anecóica, debido a la ausencia de ecos y reflexiones en las paredes.

Las características necesarias o al menos deseables para establecer un sistema de reproducción ambifónico o de sonido envolvente incluye las siguientes (DAUBNEY, 1982; CARBINES, 1982):

1. Facilidad para poder admitir cualquier tipo de fuente sonora o de materiales grabados, como por ejemplo:
 - a) Espacios sonoros naturales que eviten utilizar reverberación artificial.
 - b) Material multipista y multimicrófonos con control panorámico, lo que significa señales monofónicas a las que se les introduce una indicación de dirección sintetizada.
 - c) Material sonoro ya grabado. Esta característica es de gran importancia por la gran cantidad de material recuperable.

2. Posibilidad de disponer de un formato de grandes prestaciones que permita eliminar posibles errores en grabaciones intermedias y que ofrezca una amplia gama de posibilidades para el procesado posterior, incluyendo una gama de efectos de gran versatilidad.
 3. Sistema de codificación normalizado, que permita su uso por el gran público, y que tenga, al menos, las siguientes propiedades:
 - a) Códigos concretos de cada dirección posible de sonido.
 - b) Baja sensibilidad ante errores de transmisión y de codificación.
 - c) Libertad del oyente para poder decodificar a cualquier cantidad razonable de altavoces en cualquier disposición.
 - d) Capacidad para ser decodificado de modo que ofrezca una localización estable así como la posibilidad de variar los controles de tono, de acuerdo con el mejor criterio psicoacústico posible.
 4. Compatibilidad absoluta con sistemas mono y estereofónicos.
 5. Capacidad de crecimiento y evolución para evitar que el sistema pueda llegar a quedar obsoleto o superado por distintas tecnologías.
- Es importante por ello mantener las cintas "master" en un formato que no pueda ser alterado por los desarrollos futuros posibles.

Existen tres tipos diferentes de técnicas que inciden en el sistema ambifónico:

- Sistema BMX de la Nippon Columbia.
- Sistema bajo especificaciones de la RM japonesa.
- Sistema NRDC, de patente europea, aceptado por la BBC.

Precisamente con este último sistema, el NRDC, se grabó "ambifónicamente" una realización sonora para la BBC en el mes de Marzo del año 1983. Fue la primera vez (BONO, 1983) que se utilizó este sistema para grabar un programa dramático y ser transmitido por radiodifusión. Cumpliendo con todas las especificaciones que determinan esta forma de difundir sonidos grabados, los posibles oyentes de "Gilgamesh", título del programa, pudieron escucharlo: monofónicamente, a través de un pequeño receptor portátil; estereofónicamente si disponían de un sintonizador de dos canales; o ambifónicamente, es decir, hasta con ocho canales, aquellos que dispusieran del decodificador adecuado.

HOLOFONICO

Encuadrado dentro del conjunto de sistemas de grabación y reproducción cuya intención es generar un "sonido envolvente", el sistema holofónico se presenta en Enero de 1983 como patente de aplicación para toda Europa con el número 0-050-100. Hugo Zuccarelli, su inventor, asegura haber desarrollado una nueva teoría sobre la audición humana basada en los principios de la visión estereoscópica y sobre todo de la holografía ²⁴.

Técnicamente el sistema holofónico consiste en: "*... una codificación especial de los sonidos recogidos a través de una cabeza artificial que, gracias a un enfoque tecnológico nuevo, es capaz de grabar y/o transmitir sonidos estereofónicos con una auténtica dimensión espacial*" (ZUCCARELLI, 1983). La estereofonía convencional o cualquier otro sistema binaural ofrece información tan sólo en el plano horizontal y con poca precisión en el plano vertical, según hemos visto en el apartado correspondiente. Sin embargo el autor afirma que el sistema holofónico recrea las cuatro dimensiones originales (altura, anchura, profundidad y tiempo) de la imagen sonora en el espacio que envuelve al oyente.

Hace algunos años el sistema de grabación y reproducción de sonido a través de cabeza artificial había sido abandonado por no aportar ningún avance respecto a los sistemas tradicionales de situación de micrófonos. Sin embargo aquellas cabezas eran totalmente pasivas; no pasaban de ser más que una especie de maniqués con dos micrófonos en las orejas. El sistema holofónico por el contrario, imita perfectamente las cavidades interiores de nuestro sistema auditivo y las intercomunicaciones que lo conforman. Trata de equiparar la dureza de los materiales plásticos utilizados en su construcción a la de los huesos y cartílagos del oído; y tiene en cuenta incluso la textura de la piel y los cabellos de la cabeza humana.

En cuanto a la codificación electrónica que introduce puede ser dividida en dos partes: por un lado un sistema activo autogenera un ligerísimo ruido de fondo (ruido rosa cuyo espectro tiene componentes de todas las frecuencias del margen audible); por otro dispone de una serie de ecualizaciones que el oyente debe manejar en el momento de la reproducción. Hugo Zuccarelli cree que los sistemas de grabación sonora han estado equivocados desde Edison hasta el presente, ocupados en recoger únicamente las vibraciones mecánicas directamente generadas por la fuente de sonido, lo que no es más que la mitad de la información que se está produciendo. Concluye con la idea de que la escucha es una experiencia activa que no había sido tomada en cuenta hasta ahora.

La idea fundamental en la que se basa la holofonía es la de que el cerebro debe interpretar la interferencia (como en la holografía) de dos fuentes sonoras: una la que le llega del ambiente sonoro que envuelve al oyente y que recibe a través del sistema auditivo; otra la que le llega del propio oyente a través de una serie de vibraciones y resonancias complejas creadas en las cavidades del oído, de la nariz e incluso de la garganta (HOLOPHONY 1983, ZUCCARELLI 1983).

La aparición en el mercado de este nuevo sistema de grabación y reproducción ha provocado, como cualquier novedad técnica que introduce variaciones significativas, reacciones encontradas de las que damos cuenta tomando como ejemplo dos opiniones diferentes. Barry Fox, colaborador de la revista inglesa "Studio Sound" y especializado en análisis técnicos de equipos profesionales de audio, afirmaba en Julio del mismo año (FOX, 1983), después de asistir a una audición para profesionales, que la holofonía no debía considerarse como una nueva teoría sobre la audición sino como una forma de grabar basada en la acertada conjunción de efectos especiales y ecualizaciones electrónicas que obtenían un cierto tipo de sonidos que llegaban a provocar fatiga auditiva. Concluía Fox con el vaticinio de que el sistema holofónico pasaría a la historia en poco más de un año. Por el contrario otro especialista de audio profesional llamado Richard Elen, también en la revista "Studio Sound", proponía seis meses

más tarde (ELEN, 1984) que el sistema holofónico era uno más entre los sistemas de grabación de sonido envolvente (surround sound), que mantenía sus características en la reproducción y que funcionaba correctamente.

La realidad ha sido que los Laboratorios Zuccarelli, localizados en Londres, continuaron su trabajo realizando grabaciones en todo tipo de actividades que necesitaban de efectos especiales y audio profesional: cine, televisión, multivisión y sobre todo discos gramofónicos ²⁵. Aunque no hemos conseguido encontrar nuevas referencias a partir de 1987.

PSEUDO-ESTEREOFONIA

La evolución que han seguido las investigaciones en el campo de la grabación y reproducción del sonido no dejan ninguna duda respecto a lo que se quiere conseguir: Recrear en la mejor medida posible las condiciones naturales de audición. Para ello se cuidan con precisión cuantos medios técnicos intervienen en el proceso; desde la captación mediante un conjunto de micrófonos hasta el último eslabón de la cadena de reproducción que pueden ser un conjunto de altavoces o incluso unos auriculares. La disposición de unos y otros y las técnicas utilizadas varían significativamente según hemos visto anteriormente y pueden depender de la tecnología del momento e incluso de costumbres o modas. El sistema utilizado tanto en recepción como en emisión es, sin embargo, universalmente aceptado y la Estereofonía no ofrece dudas en cuanto a baremos de calidad, prestaciones, fidelidad en la reproducción y en definitiva, recreación de la realidad. Otros sistemas, de los cuales también hemos hablado, como el monofónico de menores posibilidades o más complejos y costosos como la cuadrafonía, han quedado relegados a aplicaciones muy específicas ²⁶.

Si alguna objeción podía llegar a ponerse al sistema stereofónico en el momento de su aparición en el mercado y desde la óptica, naturalmente, del sistema monofónico y su aparato comercial e industrial, era la ineludible necesidad de al menos dos canales independientes tanto en el proceso de grabación como en el de reproducción. Hay que darse cuenta de que a partir de ese mismo instante, en los primeros años cincuenta, una enorme cantidad de grabaciones quedaban prácticamente arrinconadas al estar realizadas según la técnica monofónica y por tanto sin posible competencia con la nueva técnica de dos canales con la que no resistía una mínima comparación. Como natural consecuencia de lo anteriormente expuesto, los primeros años de desarrollo de la estereofonía fueron también años de vanos intentos de imitar, mediante experiencias electrónicas casi siempre, el nuevo sistema que se había normalizado.

Para este estudio, por las razones que veremos más adelante, nos interesa conocer con cierto detalle las técnicas que intentan sintetizar al menos dos señales estereofónicas a partir de una única señal monofónica; las más significativas fueron:

- Método JANOVSKY.
- Estéreo - reverberación.
- Método SCHROEDER.
- Método LAURIDSEN.

Método JANOVSKY

Uno de los primeros intentos (TREMAINE, 1977, p. 1243), el más elemental quizá, fue el de tratar de dividir la señal monofónica en otras dos señales separadas y enviarlas a diferentes altavoces colocados en la misma disposición que utilizaba la técnica estereofónica. Fue denominado "método Janovsky", según el nombre de su introductor, y se patentó en Alemania con el número 973570-DBP, en el año 1955 ²⁷. Básicamente la distribución de bloques de esta técnica era como sigue: Un sistema reproductor monofónico envía una señal simultáneamente a dos altavoces, distribuyendo las frecuencias del margen audible mediante una red de cruce elemental. El altavoz de la derecha tan sólo va a recibir las señales de baja frecuencia, puesto que las altas frecuencias quedan eliminadas por el filtro. Por el contrario el altavoz de la izquierda tan sólo recibirá las señales de alta frecuencia dado que las bajas son eliminadas por el filtro. El sistema era bastante burdo y lógicamente no llegó a tener demasiada aceptación por lo que desapareció enseguida.

Estereo-reverberación

Basado en la teoría de las diferencias de tiempo (FRANSEN, 1963) aparece más tarde otro sistema que intenta acercarse a la reproducción estereofónica a partir de una señal única. En este caso la técnica consiste en introducir en uno de los canales un ligero retardo con el fin de que la señal aparezca en el altavoz correspondiente perceptiblemente separada de la señal que llega al canal opuesto.

Utilizando este sistema se llevaron a cabo experiencias distintas en el laboratorio de Acústica de la Radiodifusión Francesa (CONDAMINES 1978). Fueron globalmente denominadas "stéréoreverbération" y las dos más importantes pueden esquematizarse de la manera siguiente:

- A. Retardo por reflexiones en un recinto.
- B. Retardo por separación de cabezas magnéticas.

Otros dispositivos mecánicos o electrónicos no llegaron a tener apenas relevancia o eran simples variaciones de estos dos. Sobre todo en el primer caso aparecieron otras variantes que modificaban el tipo de recinto (cámara anecóica por ejemplo) o la situación de los altavoces.

A. Retardo por reflexiones en un recinto.

El altavoz A se coloca enfrente al oyente y emitiendo directamente la señal monofónica. El altavoz B se instala transversalmente respecto del A formando con él aproximadamente un ángulo recto y con el eje de radiación siguiendo éste eje. La señal proveniente del B será recibida por el oyente a través de las reflexiones en las paredes y, por tanto, a causa de una mayor longitud recorrida, con un cierto desfase en el tiempo. Este sistema llegaría a ser utilizado posteriormente no para tratar de imitar el efecto estereofónico, sino para introducir reverberación artificial en la grabación en estudio de fuentes de sonido que resultaban "secas", como se denomina a aquellas señales que se perciben con un tiempo de reverberación muy pequeño.

B. Retardo por separación de cabezas magnéticas.

Este sistema exige la utilización de un magnetófono especial con dos cabezas de reproducción separadas una determinada distancia, a ser posible variable. Cuando se reproduce la misma señal monofónica, previamente grabada con una única cabeza magnética, de modo secuencial a través de las dos cabezas de reproducción, aparece una diferencia de tiempo de la una respecto de la otra en el sonido percibido. Señales retardadas que al ser enviadas una a cada altavoz consiguen producir un efecto de ambiente.

Este procedimiento acusaba un grave defecto en la reproducción de la palabra hablada, así como en señales de tipo impulsivo. Consistía en una desagradable sensación de eco, por excesivo retardo, que llegaba a distraer la atención del oyente.

Método SCHROEDER

Aunque presentamos este método inmediatamente antes que el de Lauridsen, no fué sin embargo anterior a él en el tiempo. El sistema presentado por Schroeder también trataba de obtener dos señales separadas "quasi-estereofónicas" a partir de una señal única monofónica, pero en este caso en vez de un filtro peine, cuyo fundamento veremos a continuación, utilizaba un filtro "paso banda" con el que se seleccionaban intensidades alternativamente en función de la frecuencia, además de ir introduciendo variaciones de fase en las señales que llegaban a cada oído. El esquema básico del circuito utilizado por Schroeder era similar a los presentados a continuación aunque en este caso se emplearon para las experiencias de audición una cámara anecóica. Posteriormente Schroeder utilizaría su método aplicándolo a la investigación de la acústica de salas de audición, a partir de señales impulsivas (SCHROEDER, 1961).

Método LAURIDSEN

Un sistema de reproducción de sonido que, como la estereofonía, trata de acercarnos a la realidad se basa, según hemos estudiado, en unas relaciones adecuadas y precisas de intensidad, fase y tiempo entre las señales de los dos canales. Además requiere una posición, en cierto modo crítica, del oyente respecto a las fuentes sonoras correspondientes a cada canal en lo que se refiere a simetría y distancia. Gran cantidad de información estereofónica utiliza diferencias de amplitud en la distribución de la señal entre un canal y otro; es decir, un sonido aparece más acentuado en uno que en otro altavoz, sin querer ser un indicativo de dirección, sino la lógica variación entre canales.

El procedimiento de grabación y reproducción que ahora analizamos, que también utiliza diferencias de amplitud, no produce un efecto estereofónico de gran calidad pero sin embargo es más tolerante con la posición del oyente respecto a las fuentes sonoras.

Si fuera posible que una señal monofónica, de similar manera a ésta descrita de las amplitudes, pudiera ser dividida y además bifurcarse, distribuyendo una porción diferente a cada uno de los dos canales, el

resultado tendería a parecerse a gran cantidad del material estereofónico que habitualmente escuchamos. Este fué el razonamiento elemental en que se basó el autor (LAURIDSEN, 1954) al idear el efecto que lleva su nombre y que, por procedimientos puramente electrónicos, simula una sensación en el oyente que se acerca en gran medida a la sensación provocada por el efecto estereofónico.

El método utilizado por Lauridsen tuvo dos fases en su proceso de creación entre las que mediaron dos años de experiencias con distintas categorías de oyentes hasta obtener una respuesta precisa respecto a su percepción. La segunda fase es una evolución bastante mejorada de la primera que apareció dos años más tarde (LAURIDSEN, 1956).

Básicamente el método puede definirse así:

La señal monofónica es procesada y se sintetiza mediante componentes electrónicos discretos, utilizando dos filtros "peine" (Electronic Comb Filter), uno de ellos retardado en fase 180 grados respecto del otro. Una señal que es retrasada y a continuación mezclada con la señal inicial provoca el efecto en amplitud de cancelaciones de algunas frecuencias, las que están en oposición de fase; y el efecto de duplicar la amplitud en el caso de frecuencias que están en fase. Por tanto unas frecuencias se anulan y otras se duplican, apareciendo en la respuesta en frecuencia final una serie de crestas y valles. Cuando puede apreciarse

un sucesión con oscilaciones de amplitud variando en el margen de frecuencias de audio (20 Hz-20 kHz), la representación de la amplitud de la señal en función de la frecuencia se asemeja a las púas de un peine.

Las gráficas correspondientes al citado sistema podemos encontrarlas en las últimas páginas del capítulo dedicado al prototipo experimental.

Precisamente ésta es la razón por la que hemos dejado para el último lugar la descripción de método pseudo - estereofónico basado en las especificaciones de Lauridsen.

El prototipo electrónico desarrollado para complementar nuestro estudio sobre las variables electro - acústicas que influyen en la percepción de la imagen auditiva, se basa en los esquemas iniciales presentados por este ingeniero en las revistas científicas de los años cincuenta.

La actualización tecnológica de los componentes de los distintos circuitos y la mejora de algunas parámetros en su desarrollo, nos ha permitido el diseño de un prototipo de doble canal que va a simular, de manera controlada, las amplitudes , las fases y los retardos temporales de hasta cuatro fuentes acústicas que añadiremos a las dos fuentes iniciales estereofónicas convencionales.

NOTAS

3. Gran Enciclopedia Larousse, 1990.

La segunda acepción del término también nos sirve para esta definición simplificada de nuestro "sistema". Se refiere a un "Conjunto de elementos interrelacionados, entre los cuales existe una cierta cohesión y unidad de propósito". Los elementos aludidos y que forman parte del sistema de grabación, son el conjunto de elementos técnicos y su evolución en el campo tecnológico que amplían cada día los límites de fidelidad en el proceso de escucha.

4. Este dato ampliamente documentado, así como cuantos se relacionan con el descubrimiento de Edison, se puede encontrar en cualquier enciclopedia. Nosotros lo hemos encontrado, además, en varios libros técnicos y revistas especializadas del ámbito de la acústica citados en la bibliografía. Pero como documento referencial, y al que se cita en cuantas bibliografías se consultan sobre el tema, nos encontramos con : "From Tin Foil To Stereo", de Oliver READ y Walter L. WELCH, publicado por Bobs-Merrill Co.,NY, en 1959.

5. La máquina parlante Faber y la máquina parlante de von Kempelen, se citan de pasada varios estudios, pero pueden encontrarse datos más concretos en: Crónica de la Técnica y en L'oreille oubliée.

6. Además de estas referencias citadas, Lowenthal nos habla del gran "Proyecto Cosmofónico" para recuperar los sonidos perdidos del pasado, aparecido en la revista "New Scientist" del 27 de Marzo de 1975.

7. Una descripción detallada de todos estos dispositivos puede encontrarse en la edición especial de la revista *Journal of the Audio Engineering Society*, conmemorativa del 100 aniversario del nacimiento del Fonógrafo.

8. (Algo similar se había llevado a cabo anteriormente de manera mecánica por un tal Robert Hooke en Londres, a través de una cuerda tensada entre dos cajas resonantes en 1667. Es el típico experimento al que jugamos todos de pequeños utilizando una cuerda de bramante y dos botes metálicos o de plástico. Al tensar la cuerda y hablar por uno de los botes las ondas sonoras producidas por la voz pueden escucharse con gran fidelidad en el bote opuesto adaptado a la oreja del receptor).

9. En algunas de las referencias escritas que pueden encontrarse a propósito del Paleófono descrito por Cross, se insinúa la posibilidad de plagio por parte de Edison. Sin embargo las dudas quedan aparentemente despejadas en los estudios de los esquemas de trabajo de Edison que aún se conservan y que, según consta en referencias escritas de colaboradores cercanos, pueden consultarse actualmente en su Casa-museo de Menlo Park.

10. La referencia escrita más cercana que se tenía de la palabra "fonógrafo" era de 1835, cuando algunos Egiptólogos la usaron para describir una forma jeroglífica de escritura. Apareció otra vez en 1845 como un nombre para los caracteres en el estilo de la fonética de un tal Pitmans. Su primer uso como la descripción de una máquina fue en 1863 para un fonógrafo electromagnético descrito por F. B. Fenby que nunca llegó a ser construido.

11. Las referencias y citas añadidas a propósito de ésta lista profética de Edison, así como un amplio muestrario de reproducciones de grabados de la época, representando el fonógrafo y sus aplicaciones, se pueden encontrar en: Dearling, 1984, p. 25; y en el número extraordinario de la revista *JAES*, del año 1977, dedicada al centenario del nacimiento del sonido grabado. En dicha revista encontramos continuas referencias, citas y grabados extraídas del libro, aparentemente más fidedigno, que se puede encontrar sobre Edison y su Fonógrafo. Este libro, ya descatalogado, es: "From Tin Foil To Stereo - Evolution Of The Phonograph", de los autores: Read, Oliver & Welch, Walter, L.; editado en 1959 por Howard W. Sams & Co., en Indianapolis.

12. Se puede llegar a comprobar, hoy día en nuestros discos de vinilo, una interpretación visual similar a la que se hacía entonces del grado de calidad de los surcos.

Las frecuencias muy bajas, por debajo de los 50 Hz, exigen un gran desplazamiento de la aguja debido a las amplias oscilaciones de largas longitudes de onda. Motivado por estas amplias oscilaciones los surcos adyacentes deben mantener una gran separación, obligada si se quiere evitar que la aguja pueda variar su trazo por error de lectura. Esta separación es la que se observa claramente a simple vista, diferenciada de los surcos con frecuencias más altas que están más juntos.

13. En el libro de TREMAINE, "Audiociclopedy" pp. 1012-1057, nos encontramos con detalladas descripciones técnicas y en el libro de DEARLING, pp. 97-107, pueden encontrarse amplias referencias de tipo histórico a propósito de éste tema.

14. Eventualmente hubo un revuelo de algunos compradores exquisitos quienes sentían que aquéllo que estaban escuchando no era una actuación sino un conjunto de actuaciones, agrupadas juntas para hacer una obra perfecta pero muy artificial. Algunas compañías repondieron con el anuncio de que sus grabaciones estaban compuestas de trozos completos y no editados de movimientos o de trabajos musicales, pero por aquel entonces los editores de cintas eran tan eficientes en su trabajo que incluso ni el mejor crítico pudo evitar que le dieran "gato por liebre".

15. La Real Academia Española de la Lengua, en la últimas modificaciones y sugerencias publicadas en Septiembre de 1992, propone el empleo de la palabra casete en lugar de la utilizada hasta ahora, tomada del idioma francés : "cassette".

(16). El casete compacto, gracias a la visión de Philips para normalizarlo, llegó a ser objeto de grandes avances y sofisticaciones mecánicas, por lo que los otros dos formatos alternativos a éste desaparecieron pronto y silenciosamente. Estos fueron el DC International Cassette System diseñado por la compañía Telefunken y Grundig en Alemania con una velocidad de reproducción de 5 centímetros por segundo, y el formato de la compañía Saba, también alemana, que mantenía el de las cintas de carrete abierto con un ancho de 1/4 de pulgada: dos veces el ancho de la cinta en una casete estándar de Philips.

17. En una forma más primaria, la misma idea había sido usada por Paul G. Voigt, quien introdujo un circuito de preénfasis inicial de alta frecuencia (en aquella época, entre 6 y 9 kHz) en las grabaciones de microsurdos, en los primeros años de la grabación eléctrica, y como resultado se llegaba a apreciar una notable reducción en el ruido de la aguja sobre el surco durante la reproducción.

18. Hay una característica física que es exclusiva del Compact Disc y es que el disco es reproducido al revés, es decir, que el haz de luz lo lee desde abajo hacia arriba. Cuando es visto desde arriba (por la cara de la etiqueta), el CD gira en la dirección de las agujas del reloj, lo que significa, por supuesto, que desde el punto de vista del rayo de luz que el disco da vueltas en la dirección "anormal" ya que lo hace al contrario de las agujas del reloj.

19. El disco compacto regrabable (CD-Erasable) es ya una realidad en periodo de desarrollo en el campo de la instrumentación profesional desde finales de 1992. El disco compacto grabable (CD-Recordable), fue presentado comercialmente por la prestigiosa firma STUDER - REVOX en la Convención anual de la Audio Engineering Society de Febrero de 1991, en Paris. Todas las empresas importantes del campo de la ingeniería de audio - Philips, Yamaha, Kenwood - disponen de equipos grabadores de CD en el mercado, abaratándose los costos rápidamente.

Tan sólo queda por resolver un pequeño inconveniente como es el que representa la incompatibilidad entre los procesos de lectura de los CD convencionales y los CD grabables, dado que la tecnología de grabación, basada en éstos últimos en procedimientos MO(Magneto-Opticos), no sigue los mismos principios ni utiliza los mismos códigos de conversión A/D.

20. La analogía aquí es con la fotografía estereoscópica, en la cual dos vistas de la misma escena tomadas desde puntos de vista ligeramente desplazados entre sí, son reproducidos a través de un instrumento binocular que imita la posición de los dos ojos para dar la ilusión de profundidad y perspectiva. El cuadro, en lugar de ser plano y de dos dimensiones, parece tener una tercera dimensión: parece sólido: "stereos".

21. Durante el año 1932 se hicieron multitud de pruebas con todos los sistemas. Uno de los experimentos estereofónicos más interesantes, que aún se conserva, fué puesto en marcha por un equipo de los laboratorios telefónicos de Bell en la Academia de Música de Philadelphia. Leopold Stokowski y la orquesta de Philadelphia efectuaron muchas grabaciones utilizando dos micrófonos y transcribiendo las señales sonoras a discos de cera maestros, a 78 rpm y usando dos pistas de corte paralelo y vertical.

22. Stokowski fué un director de orquesta y compositor siempre dispuesto a llevar a cabo experiencias donde la música estuviera presente. Con la Orquesta Sinfónica de los estudiantes de la Universidad de Illinois, en el año 1952 realizó un experimento educativo en el que se utilizaron grabaciones estéreo en cinta para transmitir las por un medio radiofónico de una manera un poco especial. Un canal se emitió por la FM, y el otro por la AM, el objetivo era que los oyentes con dos receptores, colocándolos adecuadamente, pudieran recibir la música en estereofonía, simulando lo que pocos años más tarde sería la decodificación estéreo para radiodifusión. Estas y otras referencias se pueden encontrar en : Enciclopedia Larousse, Enciclopedia de la Música y en Pfeiffer, J.(1977).

23. El citado decodificador matricial, una vez superadas las pruebas de desarrollo electrónico, se utilizó para llevar a cabo pruebas comparativas de audición en diferentes recintos (Cámara Anecoica, Sala Reverberante, Sala Normalizada) y con diferentes equipos de reproducción.

Dichas investigaciones dieron lugar a una "Memoria Técnica", inédita, elaborada por M.Romera, J.Sánchez y M.Siguero. Constituyendo además el Trabajo Fin de Carrera de J.Sánchez González, presentado bajo el título: "Cuadrafonía Matricial", en la ETSII de la Universidad Politécnica de Madrid, en el año 1973.

24. Holografía: Proceso de impresión fotográfica en el que, utilizando señales de un haz de luz láser reflejado por un objeto, en interferencia con otro haz de luz láser de referencia, se consigue observar, una vez revelada la placa por procedimientos normales, el objeto "holografiado" desde cualquier ángulo de visión conservando las distintas perspectivas (FRANÇON, M. 1969).

25. Un ejemplo de ello es el trabajo efectuado en el último álbum grabado por el conjunto de rock sinfónico Pink Floyd, llamado "The final cut", editado en España por Emi-Odeón a finales del 84 y cuyos efectos especiales están grabados por los laboratorios Zuccarelli.

26. Por muchos años, estéreo y mono co-existieron cara a cara. El final comenzó definitivamente el 13 de abril de 1967 cuando EMI anunció que todos sus grabaciones clásicas se sacarían a la venta en estéreo únicamente. Decca lo hizo en Marzo del 69, cuando el resto de la industria a ambos lados del Atlántico dió el mismo paso, que se convirtió en definitivo en la mitad de los 70. (JONES, 1977).

27. El director Hermann Scherchen, quien como Leopold Stokowski, estaba muy interesado en las avanzadas y experimentadas técnicas de grabación, y que había realizado un vasto número de grabaciones monofónicas, inventó y comercializó para uso doméstico, un dispositivo llamado "Stereofhoner". Este dispositivo ofrecía una sensación de estereofonía al reproducir grabaciones monofónicas mediante el sistema de desdoblamiento del margen de frecuencias y alimentar separadamente cada canal. Es evidente que esta referencia técnica, es una clara aplicación del citado método Janovsky.

CAPITULO IV

*ACUSTICA
DE SALAS
DE AUDICION*

ACUSTICA DE SALAS DE AUDICION

La acústica de salas de audición es una ciencia experimental como ninguna otra basada simultáneamente tanto en cálculos y medidas objetivos como en criterios subjetivos. Quizá por estas razones pueda parecer complicada y de difícil concreción. Con mucha frecuencia es en parte subestimada por los físicos especializados ya que no permite aplicar directamente las leyes establecidas por la física puesto que muchos de sus aspectos no se pueden objetivar o "traducir a números para se llegue a entender completamente" como proponía Lord Kelvin en los albores de la metrología física cuantificable.

Aspectos relacionados con la audición y la percepción, se ven influidos por elementos como la humedad y la temperatura que influyen en la presión, por lo que resulta prácticamente imposible conjugar todas estas

variables en una ecuación única o tratar de representarlas mediante un simple diagrama de coordenadas.

Los técnicos e ingenieros acústicos tampoco se sienten seguros en sus actuaciones en el diseño o acondicionamiento de recintos dedicados a la audición puesto que en demasiadas ocasiones pueden aparecer factores imprevisibles que lleguen a hacerles perder rápidamente un prestigio ganado a base de mucho trabajo.

Por otro lado los músicos miran con desconfianza una ciencia que, aunque basada en las matemáticas como la suya propia, utiliza otro lenguaje con pocos nexos de unión, que se aleja de sus conocimientos dada también la exclusiva dedicación de éstos al mundo de las sensaciones sonoras donde predominan la estética y la armonía.

Por último los oyentes o destinatarios, melómanos y audiófilos, donde podemos encontrar a unos y a otros, también desconfían de un ciencia con tan mala publicidad, pero sobre todo cuyas posibilidades se les escapan por falta de formación y de información.

Sin embargo, la sala o el recinto donde se desarrolla la escucha, y la que va a ser el destinatario de todas las variables que influyen en la percepción de las imágenes auditivas, condiciona la forma y la evolución de los sonidos que en ella se propagan, siendo una prolongación de los instrumentos que los generan.

Referencias históricas

Las primeras referencias históricas sobre la ciencia acústica se pueden encontrar a través de la relación entre la música y la arquitectura. Templos y otros recintos de reunión levantados cerca de 4000 años antes de nuestra era, representan escenas musicales donde pueden apreciarse flautas, tambores, arpas y otros instrumentos. Estas referencias están presentes en cualquier de las culturas, tanto orientales como occidentales, que han llegado hasta nosotros.

La cultura griega, de la que somos herederos naturales, nos ha dejado numerosos ejemplos y referencias escritas. Platón insistía en que la música era un ingrediente esencial en la educación y una manera eficaz de expresar la naturaleza individual.

Pitágoras, matemático, astrónomo y geógrafo griego del siglo VI a.c. dejó un rico legado sobre aspectos relacionados directamente con la acústica y la música a través de la relaciones entre las cuerdas vibrantes y los tonos musicales, estableciendo matemáticamente la correspondencia entre el tono fundamental y su octava. (PIERCE, 1985 p. 23).

Aristóteles, el filósofo por excelencia de la cultura griega, definió con

gran aproximación muchos de los aspectos fundamentales relacionados con el sonido y la audición, estableciendo una avanzada teoría sobre la propagación del sonido en el aire:

"... el sonido producido proviene de algo que golpea a otra cosa distinta en el medio transmisor, pues lo que produce sonido es un golpe y su vibración. Así si solo se da presente una condición, no puede haber sonido alguno, porque lo que golpea y la cosa golpeada tienen distinta naturaleza.[...]. Y ningún golpe tiene lugar sin movimiento.[...] ... luego un golpe original produce una cantidad determinada de otros sonidos por vibración, porque el medio transmisor (el aire) no puede sustraerse a su acción.[...] ... el aire al ser golpeado, permanece en su lugar y no es disipado. Así pues, es sonoro lo que puede producir movimiento en una masa de aire".²⁸

En el campo de la acústica arquitectónica, cualquier estudio relacionado con esta materia, debe rendir homenaje a Marcus VITRUVIUS Pollio, arquitecto e ingeniero romano cercano ya a nuestra era, que aprendió directamente de los teatros griegos, y sentó las bases para el aprovechamiento de las propiedades acústicas que deberán reunir los edificios destinados a la audición.

Algunas de estas propiedades de los anfiteatros griegos ya reconocían que los objetivos prioritarios asociados a los auditorios debían ofrecer un entorno acústico:

- A. Libre de ruido. Por estas razones sus emplazamientos se elegían alejados del ruido de las ciudades.
- B. Satisfactorio para una adecuada inteligibilidad de la palabra.
- C. Apropiado para contener y difundir toda la riqueza de la música. (CANAC, 1967, p.32)

Los teatros aprovechaban la topografía natural del terreno, utilizando las laderas de la montaña para el área del público, las gradas y los asientos. Esta situación permitía un acoplamiento perfecto entre la parte visual y la auditiva. En la elección de las laderas que acogerían la construcción, predominaba la búsqueda de lugares protegidos de los vientos, para evitar ruidos y pérdidas de inteligibilidad.

En el fondo del escenario, de modo similar a la concha trasera actual, se construía un muro añadido al anfiteatro inicial para realzar acústicamente la orquesta y aprovechar mejor la relación entre sonidos

directos y reflejados.

El teatro griego, literalmente "théatron", derivado de "theáomai" que significa: lugar para ver, fue evolucionando hacia formas más abiertas y de más completo diseño, valorando mucho más los "auditorium", literalmente, lugar para oír.

Los romanos introducen importantes modificaciones en el diseño de los recintos griegos y una de ellas fue la construcción de un escenario más amplio y ligeramente más elevado, añadiendo además una pared trasera que incrementaba el nivel de intensidad sonora de los grupos teatrales y los conjuntos musicales.

La evolución hacia otras formas relacionadas con los espacios acústicos derivó hacia los recintos cerrados más pequeños, denominados "odeion", con estructura geométrica de sección cuadrada y techos de madera, aunque conservando las gradas en disposición semicircular similar a los grandes auditorium.

Otros ejemplos de grandes construcciones dedicadas a la palabra y ocasionalmente también a la música fueron las enormes templos destinados al culto religioso, las mezquitas y las iglesias. Con techos mucho más elevados, gran cantidad de columnas y bóvedas que favorecen las reflexiones y materiales poco o nada absorbentes al sonido aumenta sustancialmente la reverberación del recinto.

Esta característica se va incrementando progresivamente hasta llegar a las estructuras enormes de los santuarios góticos, disminuyendo en la misma medida la calidad acústica.

En el siglo XVII se empiezan a construir en Italia, junto a las enormes basílicas e iglesias, unos edificios suplementarios más pequeños. Eran pequeñas capillas denominadas "oratorios", de formas rectangulares, techos más bajos y tamaños bastante más reducidos resultaron de una gran versatilidad, ofreciendo unas adecuadas características acústicas para la escucha de música instrumental y coral.

Los palacios de la realeza y los grandes nobles sirvieron también para favorecer la expresión de la palabra y la música y el desarrollo de muchas composiciones está basado en las características acústicas de estos salones donde se representaban. Recintos no muy amplios, con techos altos, decoración recargada, pocos oyentes y pocos instrumentos.

A finales del siglo XVIII nos encontramos con la construcción de grandes auditorios para la representación de ópera. El más célebre es el de la Scala de Milán. De diseño arquitectónico con planta en forma de herradura, seis pisos de balcones rodeando el perímetro del auditorio y filas de asientos escalonados, tenía, según aseguraban la mayoría de los que asistieron a alguna representación, unas condiciones de escucha para palabra y música casi perfectas. Tuvo que ser reconstruido después de la

segunda Guerra Mundial y parece ser que han conseguido mantener intactas sus características iniciales (JORDAN, 1969).

Hasta finales del siglo XIX, que es el período en el que se sientan las bases científicas para la medida y cálculo de determinadas características acústicas, los recintos destinados a la audición de palabra y música que mantenían unos mínimos de calidad, eran el resultado fructífero de una intuición genial que tenía mucho que ver con el azar.

Eran resultado de unos conocimientos físicos y matemáticos elaborados con muchos datos de otras experiencias, confiados a medidas subjetivas y por tanto basados en la percepción auditiva de otros individuos. Esto en el caso de que se quisiera llevar a cabo una realización de nuevo diseño. Lo habitual, hasta los inicios del siglo XX, era la construcción de recintos acústicos basados en aquellos otros auditorios que el paso del tiempo había definido como "eficaces" musicalmente hablando.

El desarrollo científico de esta disciplina se inicia en el año 1895 en la Universidad de Harvard, donde su Consejo Rector decide acometer las obras necesarias para mejorar la inteligibilidad de una gran sala de lectura del Museo de Arte Fogg de dicho centro.

El profesor de ésta universidad Wallace C. SABINE se hace cargo del estudio iniciando los trabajos sin más herramientas que su oído de experto, un órgano de tubos y un cronómetro. Después de una gran

cantidad de pacientes audiciones en las que hacía sonar el órgano generando tonos de distintas frecuencias y midiendo el tiempo que tardaba ese sonido en dejar de escucharse, atribuyó a la reverberación o persistencia del sonido el motivo por el que no llegaba a entenderse con claridad a los oradores en el Museo Fogg.

Paralelamente se dedicó a investigar las propiedades de una gran cantidad de materiales, escuchando y midiendo las variaciones en el tiempo de los distintos tipos y calidades, cuando se colocaban en las paredes de una sala vacía donde probaba sus características.

Descubrió que el fieltro era el material que mejor absorbía los sonidos de distintas frecuencias. Utilizó cientos de metros de esta tela con espesor doble y a veces triple, con los que cubrió muchas de las paredes de la problemática sala de lectura, reduciendo a la mitad los iniciales 5,6 segundos de tiempo de reverberación del recinto, con lo que mejoraba notablemente su inteligibilidad ²⁹.

Sabine definió el procedimiento para calcular el tiempo de reverberación en función de varios factores : del volumen de la sala, de la longitud, y de los coeficientes de absorción de los distintos materiales que conforman sus paredes. Las fórmulas de Sabine se han utilizado durante todos estos años de forma habitual para el cálculo sobre todo en recintos grandes y simultáneamente han ido surgiendo modificaciones parciales

propiciadas por un proceso de cálculo más avanzado y el uso de nuevos materiales con mejores coeficientes de absorción.

Aparece la fórmula de Eyring en los años 30 para el tiempo de reverberación, mejor adaptada para recintos de pequeño volumen, que es aceptada junto con la de Sabine y utilizadas indistintamente. Ya en los años 60, gracias al ordenador y su potencia de cálculo, se establecen métodos alternativos basados en modelos predictivos para la medida de las condiciones acústicas de cualquier recinto.

Uno de los más recientes y más utilizados es el procedimiento de cálculo desarrollado por E. N. Gilbert de los laboratorios Bell, basado en un proceso iterativo que utiliza una integral definida por él y que permite obtener resultados aceptables para recintos de distintas características y con diferentes materiales.

Volviendo a Sabine y sus teorías fundamentales, de las que partieron cuantos trabajos científicos relacionados con la acústica arquitectónica se han llevado a cabo en este siglo, es interesante mencionar los tres requerimientos básicos que, según su punto de vista, debe reunir una sala para considerar que tiene buena acústica.

REQUERIMIENTOS BASICOS PARA QUE UNA SALA TENGA
BUENA ACUSTICA W. C. SABINE.

- Que el sonido alcance suficiente sonoridad (igualmente fuerte a todas las frecuencias del rango audible).
- Que los componentes simultáneos de un sonido complejo mantengan sus intensidades relativas.
- Que sonidos sucesivos articulados (generados) rápidamente, tanto palabra como música, sean claros y separados, sin mezclarse unos con otros, ni estos con ruidos espúreos.

Estas tres condiciones son necesarias y suficientes para una buena audición y considerar aceptable la acústica de una sala.

De estos requerimientos básicos parten muchos de los criterios acústicos de más complicada elaboración que pueden encontrarse en algunas de las actuales teorías o escuelas que han ido surgiendo y a los que nos referiremos más adelante en este estudio.

Consideraciones técnicas

Integrado en el conjunto de variables electro-acústicas y condicionando de manera significativa la respuesta global del sistema nos encontramos con la variable "Acústica de salas de audición ". Las características acústicas de la sala de reproducción y escucha tienen la capacidad de modificar parcialmente la respuesta del sistema al ser dicha sala el medio y, por tanto, elemento de transmisión, en el que se desarrolla la correspondencia entre el sonido emitido y el proceso de escucha. Es el camino que siguen las ondas sonoras desde el conjunto de pantallas acústicas hasta el oyente. (Desde la perspectiva del modelo físico de transferencia de energía deberíamos decir la transformación de energía eléctrica en energía acústica). Factores tales como la geometría del recinto, el volumen útil que configura la sala y los materiales que conforman sus paredes, techo y suelo, interaccionan acústicamente sobre las ondas transmitidas haciendo variar las características que tenían en su origen, es decir, en el momento de realizarse la toma de sonido; o, dicho de otro modo, cuando se lleva a cabo la transducción de energía acústica a energía eléctrica a través del sistema de grabación.

ESPACIO ACUSTICO

El recinto donde se va a propagar el sonido emitido por una fuente juega un papel importantísimo en la formación del campo sonoro puesto que puede llegar a modificarse drásticamente. En muchos casos estas modificaciones realzarán las características de dicha fuente y en otros casos resultarán perjudiciales. Veamos con cierto detalle cual es el proceso que se desarrolla en dicha propagación y cuáles son los factores que se van a modificar y cuales los que influyen.

El proceso básico desarrollado viene definido por el esquema más elemental del modelo de transferencia de energía, comentado en un capítulo anterior, es decir: se produce una emisión de energía en forma de onda sonora que se va a transmitir a determinada velocidad, se propagará a través del medio elegido para su transferencia estando sometida a las leyes físicas de dicho medio, y llegará a su destino o campo de recepción, siendo parcialmente modificada por las leyes del proceso de transferencia.

Una onda sonora, de modo similar a una onda luminosa, siempre es reflejada por las paredes u objetos que encuentra en su camino con mayor o menor intensidad. Esta intensidad dependerá de la absorción que

introduzcan los materiales que conforman esas paredes y esos objetos.

Si la cantidad de energía de la onda disminuye levemente porque el material es poco absorbente, la onda reflejada se podrá percibir fácilmente. Habrá sin embargo un retraso entre la onda directa que llega al oído y la onda reflejada. Un ejemplo sobradamente conocido de reflexión de ondas es el eco. La pared que produce la reflexión en este caso nos devuelve la onda reflejada con un retraso, respecto al sonido directo, del orden de 100 milisegundos, y con la suficiente intensidad como para ser percibida.

Si la distancia a la que se encuentra la pared es bastante menor que los aproximadamente 17 metros del caso anterior, entonces el sonido reflejado no se llega a distinguir separadamente del sonido directo. En este caso nos encontramos con el fenómeno denominado reverberación.

Un hecho habitual para aquél que conozca el mundo de los invidentes, relacionado con la percepción de sonidos directos y reflejados, recogido por la literatura (LEIPP, 1977, p.129), nos indica como un oído atento y entrenado utiliza estas diferencias de tiempo:

"El poeta Fielding entró por primera vez en mi cuarto el día que recibí su visita y después de dirigirme unas cuantas palabras me dijo: este cuarto mide aproximadamente 7 metros de largo, 6 metros de ancho y 4 metros de alto. Con

admiración comprendí que todo esto lo había determinado mediante el oído con gran precisión". (Recogido del "Tratado de Zoonomía" de Erasmo Darwin escrito en 1795).

Esta fenomenal habilidad de nuestro sistema auditivo, no es exclusiva de nuestra especie. Algunos otros ejemplares del reino animal se basan en ella para orientarse y conseguir alimento. Es el caso de los delfines y sobre todo los murciélagos. Estos últimos emiten un haz sonoro de frecuencias por encima del rango audible humano y captan los ecos reflejados por los objetos o animales próximos con precisión y al instante.

Pero retomemos la pregunta inicial. Los factores que se modifican se han estudiado con gran detalle, sobre todo a lo largo de los últimos cien años, gracias al desarrollo de las técnicas de registro y tratamiento de señales, y podemos simplificarlos señalando los cuatro más importantes:

Frecuencia.

Tiempo.

Sonoridad.

Densidad espectral.

1. Las características de frecuencia y sobre todo la alteración parcial de determinadas bandas del espectro modificarán la relación tímbrica y llegará a alterar lo que se conoce como color de tono y producirán una "coloración" de la sala de audición frente a determinados instrumentos.

2. La característica temporal es una de las más influenciadas. La variación de la señal sonora en el tiempo puede dar lugar a una cantidad de reverberación excesiva y aparición de ecos indeseables. Aunque una ligera modificación de la característica temporal, siempre según las dimensiones del recinto, puede resultar agradable y realzar la sonoridad de la señal inicial sin llegar a perder la necesaria inteligibilidad.

3. La cantidad de energía sonora que se va acumulando en las distintas reflexiones motivará el incremento del nivel de presión sonora en determinados puntos. La característica denominada sonoridad de la onda debe ser controlada manteniéndola dentro de ciertos límites. Una sala "sorda" en exceso nos hace perder matices importantes en el proceso de escucha. Una sala muy "viva" puede llegar a "emborronar" lo escuchado e incluso a perder las características mínimas de inteligibilidad en palabra y definición musical.

4. La energía de las reflexiones de las distintas superficies influyen en la sonoridad y espectro frecuencial de determinados lugares de la sala de audición. Esto llega a posibilitar la aparición de condiciones de recepción o escucha diferentes en distintos puntos del lugar donde se propaga la energía sonora. Pueden aparecer bandas de frecuencia realzadas y bandas de frecuencia con atenuaciones importantes.

El sistema que forman las superficies de un recinto, sus características de absorción determinadas por el tipo de material de que están recubiertas y las características acústicas del volumen de aire encerrado entre estas paredes conforman un sistema vibratorio complejo, de complicado y laborioso análisis.

De manera simplificada podemos imaginarnos un recinto cerrado simple por excelencia, el hexaedro o cubo. Cuando desde cualquier punto de una de sus paredes emitimos una señal que se va a transmitir instantáneamente, van a generarse distintos tipos de ondas sonoras que se propagarán, hasta que su energía se extinga, en un recinto simple como éste, determinado por los tres ejes ortogonales X, Y, Z, que caracterizan el espacio tridimensional.

Las ondas se propagarán según direcciones paralelas a los tres ejes. Pero las reflexiones las podemos encontrar entre dos paredes paralelas, entre cuatro paredes paralelas dos a dos, y también entre todas las paredes,

es decir, entre las seis que conforman el hexaedro.

Cuando las reflexiones se producen entre dos superficies paralelas las reflexiones se denominan AXIALES; las reflexiones entre cuatro superficies se denominan TANGENCIALES y las que se forman por reflexión entre todas las superficies se denominan OBLICUAS. Hay otra serie de reflexiones que se producen por interacción de éstas, pero son de cálculo complejo y las obviaremos en este estudio.

Los distintos tipos de reflexiones hacen que se produzcan modos diferentes de vibración y que se configuren espectros sonoros con frecuencias características determinadas.

El campo sonoro que se produce en el recinto es mucho más constante y regular si las dimensiones determinadas por su anchura, altura y longitud no son iguales ni tampoco siguen una ley de formación como sería el caso de que fueran múltiplos unas de otras. Más adelante veremos la influencia de las dimensiones en la acústica de una sala de audición y las que recomiendan algunos autores.

La respuesta en frecuencia de un recinto debe ser lo más homogénea posible y para ello el número total de frecuencias características, debido al conjunto de ondas axiales, tangenciales y oblicuas, debe ser lo más grande posible y su distribución en las superficies del recinto debe mostrar una gran regularidad.

Esto se puede medir y analizar mediante un proceso de cálculo, y así conocer y representar esta distribución de frecuencias, con lo que llegamos a obtener la curva de Densidad Espectral (LEIPP, 84, p.339).

Si no se consigue esta regularidad y homogeneidad en la respuesta de la sala, como estamos hablando de señales complejas como son la palabra y la música, las frecuencias intermedias entre dos frecuencias características pueden ser anuladas por otras que, al coincidir con ellas en el instante de entrar en resonancia, interaccionen. El fenómeno perceptivo que se evidencia en este caso es la "coloración" del recinto frente a determinados tonos musicales y por lo tanto la alteración parcial de los elementos tímbricos de una composición musical o vocal.

Otro importante factor temporal a considerar cuando analizamos el campo sonoro de un recinto es el Tiempo de Reverberación en el que vamos a detenernos con más detalle.

Cuando conectamos y emitimos con una fuente sonora en una sala de audición, la cantidad de energía va aumentando gradualmente, debido al aumento motivado por las reflexiones, hasta alcanzar un máximo cuyo grado de intensidad se mantiene si mantenemos constante la cantidad de energía que estamos emitiendo.

Si en un momento determinado dejamos de emitir la señal sonora, porque silenciamos la fuente, el sonido percibido por el receptor no

desaparece de inmediato. Si pudieramos llegar a percibirlo en fracciones muy pequeñas de tiempo, sería de esta manera. Una vez anulada la fuente sonora y haber dejado de emitir ondas directas, en el siguiente instante desaparecería la onda directa y el receptor percibiría la primera onda reflejada por la superficie más cercana, a continuación la segunda onda reflejada por otra superficie más separada, y después todas las demás. Cuanto más tarde en aparecer una onda reflejada, al haber recorrido más espacio, habrá ido perdiendo energía, y por lo tanto cada vez será más pequeña. Una vez transcurrida una determinada fracción de tiempo, la cantidad de energía de las ondas sonoras que llegarán al oído será tan pequeña que no podrán ser percibidas y por tanto el sonido, subjetivamente, habrá desaparecido.

Este proceso gradual de extinción progresiva de la cantidad de energía sonora en un recinto, inmediatamente después de haber desconectado la fuente sonora que la emitía, se conoce como reverberación. Y por tanto se conoce como tiempo reverberación lo que la señal sonora tarda en reducirse hasta el umbral de audición.

Podemos encontrar una definición técnica del tiempo de reverberación en el Proyecto de Norma Española, PNE 74043 de 1980, basada a su vez en la Norma Internacional ISO 3382 de 1975.

"Tiempo de reverberación normalizado: Tiempo expresado en segundos, para una determinada frecuencia o banda de frecuencias, definido por el intervalo de tiempo empleado por la presión acústica en un recinto para que se origine una disminución de 60 dB en el nivel de presión una vez desconectada la fuente sonora".

Existen medidas de tiempo de reverberación que solo pueden hacerse por métodos experimentales objetivos. Pero hay una medida muy utilizada últimamente que es el tiempo de reverberación equivalente (T_{eq}) y que se corresponde con la percepción subjetiva y determina las condiciones acústicas de un recinto escuchando la relación entre localización de micrófonos y fuentes sonoras.

Aunque el tiempo de reverberación no es el único criterio para el estudio y la evaluación del comportamiento acústico de una sala de audición, sí es de los más importantes y en adelante nos referiremos a él con cierta frecuencia.

De la cantidad expresada en segundos del tiempo de reverberación podemos deducir, grosso modo, como van a evolucionar las ondas sonoras musicales y vocales. Esta cifra siempre debe ir acompañada de su relación con la frecuencia y más concretamente de la banda de la octava que

corresponde. La regla general es que el tiempo de reverberación aumente progresivamente al aumentar la frecuencia.

Podemos ver algunos ejemplos extraídos de algunas de las muchas medidas experimentales que pueden encontrarse en la literatura científica relacionada con el tema (JACKSON and LEVENTHAL, 1972; FIELDER, 1982; VOELKER, 1985; BLAUERT and LINDEMANN, 1986).

Para la banda de octava cuya frecuencia central son 1000 Hz, una aproximación a los tiempos de reverberación aceptables expresados en segundos y correspondientes al tiempo de reverberación equivalente serían, en una relación de mayor a menor:

1. Iglesia (Música religiosa: Organo y Coros). 1,7 - 2,5 s

Con una observación. Cuando éste tipo de recintos se utiliza para la lectura de textos o palabra en general, los tiempos deben ser más bajos. En música aumentan, y lo aconsejable es de 1,4 s para música de cámara; del orden de 1,8 s para coros y tiempos de 2,5 segundos y mayores para música de órgano.

2. Salas grandes (>2.000 personas) gran orquesta. 1,5 - 2,2 s

3. Salas medias (500-1.000 personas) música de cámara o ligera.

Lo aceptable oscila entre 1,5 y 2 s.

4. Estudios de grabación. Deben estar previstos entre 1,2 y 2,2 s.

5. Salas multimedia. Entre 0,8 y 1,8 s.

6. Teatros de ópera. Podemos distinguir entre dos estilos operísticos con distintas necesidades de reverberación. La ópera wagneriana con tiempos que oscilan entre 1,4 y 1,8 s ; y la ópera de estilo italiano con tiempos entre 1,2 y 1,6 segundos.

7. Auditorios para palabra. Una clase lectiva, con un grado de inteligibilidad suficiente, no debería superar los 0,6 s. Un recinto para representación teatral puede oscilar entre 0,8 y 1,4 segundos.

8. Cines y salas audiovisuales. Depende en gran medida del volumen de la sala y del número de espectadores, como término medio debe estar entre 0,4 y 1 s. Algunas normativas son mucho más estrictas. Por ejemplo las exigencias para proyectar mediante el sistema THX de "Lucas Film", dictan una media de 0,6 segundos en todo el margen audible, admitiendo unos márgenes entre 0,5 y 0,7 s pudiendo alcanzar 0,9 s en los tercios de bajas frecuencias 63 y 125 Hz.

9. Estudios de TV. Entre 0,3 y 0,8 s.

10. Estudios de Radio. Salas de control. Entre 0,4 y 0,7 s.

Las salas de control donde se mezclan los sonidos grabados en los diferentes canales y las salas de audición en los estudios de radio son casos típicos donde la acústica debe cuidarse con mayor detalle. Lo estudiaremos más adelante al hablar de salas de dimensiones reducidas.

Criterios acústicos para palabra

Ya los griegos distinguían entre teatros para palabra y teatros para música y estudiaron sus diferencias llegando a algunas conclusiones que hoy pueden parecer obvias, pero que en su época fueron enormemente valiosas (CANAC, 1967, p.171):

Si el nivel de intensidad sonora es bajo, los ruidos del exterior influyen más en la palabra que en la música.

La reverberación es mala para palabra pero, si se controla adecuadamente, puede ser buena para música.

El número de frecuencias que utiliza la música es mucho mayor que el que utiliza la palabra. Por ello la música estará sometida a mayor número de influencias.

Actualmente y basados en los criterios mínimos ya expuestos por Sabine y que hemos recogido anteriormente, podemos definir tres criterios fundamentales que deberá reunir un recinto que fuera a dedicarse exclusivamente a la emisión y reproducción de la palabra. Puede decirse que es un conjunto de criterios compendio de los definidos por varios autores que iremos viendo y estudiando los aspectos científicos del tema

intentando mejorar los sistemas de comunicación a través de la voz en recintos tales como: estaciones, aeropuertos, salas de reuniones y conferencias, etc.

A. El nivel de ruido de fondo, suma del ambiental del recinto y del proveniente del exterior, debe ser lo suficientemente bajo para permitir el reconocimiento de sílabas emitidas por voces tanto masculinas como femeninas.

B. El tiempo de reverberación promediado a las diferentes frecuencias del rango audible debe ser lo suficientemente corto para permitir una buena inteligibilidad de la palabra en cualquier punto del recinto.

C. El campo sonoro debe ser altamente direccional. Si se utiliza un sistema electroacústico de comunicación, el conjunto de pantallas sonoras deben ser visibles y estar orientados hacia el auditorio.

Inteligibilidad de la Palabra

Hemos hablado de que la acústica de los recintos altera las características de cualquier tipo de mensaje que en ellos se emite. Vamos ahora a detenemos en los dos tipos fundamentales: la palabra y la música. El discurso transmitido a través de una sala por la voz de una persona o un sistema de megafonía nunca se recibe en la posición de escucha como un réplica exacta de la señal original. No solo se añade ruido de fondo, inherente al recinto donde se propaga, sino que también la señal resulta distorsionada por las propiedades reflectoras y reverberantes de la sala. A menudo la consecuencia directa de estas distorsiones se traduce en una reducción importante de la inteligibilidad de la palabra.

Con intención de mejorar la inteligibilidad, las personas que hablan suelen adaptar el nivel sonoro o la cadencia de su discurso de forma apropiada a las características de la sala -hablando despacio en una sala muy reverberante, o en voz alta en una sala muy absorbente o con puntos de baja intensidad sonora-. Sin embargo, en algunas situaciones, como cuando se emite un mensaje utilizando un sistema de megafonía, dada la desconexión entre la cabina de control desde donde se emite y el recinto

donde se reproduce, los oradores se encuentran con la imposibilidad de ajustar adecuadamente su discurso según hemos visto antes. El resultado es, a menudo, un mensaje poco claro, prácticamente ininteligible.

Si intentamos cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra y conseguimos medirla en una sala de audición, se conocerá el grado de tratamiento acústico que se requiere para tratar de solucionar tales problemas. Las correcciones más adecuadas para mejorar la claridad o definición de la palabra incluyen: refuerzo del sonido en los auditorios a través del sistema de amplificación y columnas sonoras, reducción de elevados tiempos de reverberación mediante colocación de materiales absorbentes en paredes y techos de las salas, prevención de ecos fluctuantes en medianos y grandes recintos, optimización electrónica de sistemas de megafonía mediante la incorporación de filtros y atenuación de ruido de fondo, además de las clásicas unidades de retardo.

Existen varios métodos para tratar de conocer y cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra:

AI : Índice de Articulación

PSIL : Nivel de interferencia de palabra preferida

AL_{CONS} : Nivel de articulación de consonantes

STI : Índice de transmisión de palabra

RASTI : Índice rápido de transmisión de palabra

Veamos cada uno de los métodos por separado, considerando que ésta relación es evolutiva, según el año de presentación.

Cuando hablamos de cuantificación de la inteligibilidad volvemos a referirnos a métodos que intentan expresar numéricamente determinadas valoraciones subjetivas, en función de otros datos objetivables.

La inteligibilidad es una respuesta subjetiva de un auditorio ante un determinado estímulo, así que se puede medir por ejemplo examinando el número de palabras "fonéticamente expresivas" que pueden ser identificadas correctamente por un equipo de oyentes expertos y adiestrados para la prueba. Los resultados se expresan bien como una relación de porcentajes de palabras, o como un índice expresado en una escala que oscila entre cero como valor mínimo y uno como valor máximo que en la práctica es de 0,9 (FRENCH and STEINBERG, 1947). Un Índice de Articulación (AI) inferior a 0,3 indica generalmente un discurso ininteligible y un valor de 0,7 o superior indica un excelente coeficiente de inteligibilidad. La variabilidad que aparece según la respuesta auditiva de los diferentes oyentes producirá inevitablemente una gran dispersión de los resultados que requiere análisis estadístico posterior.

Este procedimiento se desarrolló en USA a finales de los años sesenta, expresándose en forma de norma ANSI: "American National Standards Institute", S 3.5, 1969, New York ³⁰.

Otra manera de enfocarlo es determinar el Nivel de Interferencia de Palabra Preferida (PSIL) de un conjunto de medidas de nivel de presión sonora (LOCHNER and BURGER, 1964). Esto incluye medir los niveles de señal y los niveles de ruido sobre un espectro normalizado de frecuencias para palabra (con las tres bandas de octava centradas en 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz) y añadir después un factor de corrección, que se obtiene empíricamente en función del auditorio para justificar los posibles efectos de la reverberación, que variará según los materiales acústicos y las características geométricas de la sala ³¹.

Poco más tarde se desarrolla un nuevo método (PEUTZ, 1971), que examina el porcentaje de pérdida de articulación de consonantes, definido como ($\% AL_{CONS}$), basado en la observación de que la pérdida de consonantes de una palabra, degrada mucho más la inteligibilidad que la pérdida de vocales. Las consonantes, por lo general, se expresan con un nivel de presión sonora menor que las vocales, estando por tanto más expuestas a cualquier tipo de enmascaramiento producido por factores de ruido o reverberación.

El Índice de Transmisión de Palabra (STI) es también un número definido entre 0 y 1 que cuantifica con mayor aproximación el grado de inteligibilidad de la palabra (HOUTGAST and STEENEKEN, 1972). Se obtiene a partir de una familia de señales definidas por lo que se ha

denominado "Función de Transferencia de Modulación" (MTF). Este conjunto de ondas describen con bastante aproximación el grado de variación que se puede observar en las modulaciones originales del espectro de una señal por medio de un sistema de transmisión sonora en las siete bandas de octava entre 125 Hz y 8kHz:

125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000

La característica, quizá la más importante, del Índice de transmisión de palabra es que puede evaluarse sin necesidad de disponer de oradores ni oyentes y también suministra información sobre la forma en la que una sala distorsiona una señal, lo que puede ser de gran utilidad para tratar de filtrar de forma selectiva aquellas bandas de frecuencia que introduzcan una cierta distorsión siempre indeseada.

Este procedimiento fue desarrollado en el T.N.O., Institute of Perception de Netherlands, sirviendo de base científica para la concreción del RASTI, método que describimos a continuación y que está en vías de normalización internacional.

Es un método profusamente utilizado en el mundo de la acústica arquitectónica que permite obtener datos abundantes de manera clara y rápida y , sobre todo, se corresponde con otras medidas de tipo subjetivo, aunque, evidentemente, no aporte soluciones prácticas.

Esta metodología ha formado parte del amplio estudio elaborado en

el Instituto de Acústica del CSIC de Madrid, en este año 1992, en el nuevo Aeropuerto de Sevilla, para tratar de solucionar los problemas de falta de inteligibilidad en las distintas salas y recintos de embarque, facturación y pasillos de acceso y reunión ³².

Indice Rápido de Transmisión de la Palabra

Este método simplificado a partir del Índice de transmisión antes referido se obtiene limitando la medida de la Función de Transferencia de la Modulación a solo dos bandas de octava, pudiéndose así calcular el Índice Rápido de Transmisión de la Palabra (RASTI) ³³. Desarrollado a partir del índice normal, este método es mucho más rápido que si se utiliza el procedimiento STI completo y los resultados son muy aproximados. Permite llevar a cabo el proceso de instalación y toma de datos mucho más fácilmente utilizando un equipo que incorpora en la misma unidad el emisor y el receptor así como la unidad procesadora y el display de presentación de datos.

La unidad de emisión genera ruido rosa de niveles de señal que corresponden a 59 dB y 50 dB (a una distancia de 1 m) en las bandas de octava de 500 Hz y 2 KHz respectivamente, para simular el espectro de un discurso largo. Dicha señal está modulada sinusoidalmente por varias frecuencias simultáneamente, representando las modulaciones que podemos encontrar en una conversación normal. Se emiten las bandas moduladas simulando las propiedades direccionales que se medirían a un metro aproximadamente del sistema definido por el conjunto fonador de una persona normal hablando.

Este proceso permite utilizar el amplificador y el altavoz incorporados en el equipo, o bien conectar la señal al sistema de megafonía instalado en el recinto. Un micrófono de sensibilidad adecuada, de una característica omnidireccional en cuanto a directividad, recoge la señal transmitida que se procede a analizar en tiempo real en el receptor del equipo RASTI y detecta los cambios introducidos por el medio en el que se lleva a cabo la transmisión. No es preciso que el receptor y el emisor estén sincronizados aunque sean unidades independientes, porque la señal es repetitiva. La variación entre la señal recibida y la señal emitida se registra para cada frecuencia de modulación como un factor modulación-reducción. El índice rápido se calcula a partir de los factores de modulación-reducción y se presenta como un número comprendido entre 0 y 1.

La escala de inteligibilidad subjetiva puede expresarse en forma esquemática del siguiente modo:

Entre 0 y 0,30	.....	MALA
" 0,30 y 0,45	.....	POBRE
" 0,45 y 0,60	.....	NORMAL
" 0,60 y 0,75	.....	BUENA
" 0,75 y 1	.....	EXCELENTE

Al tratar de buscar una adecuada interpretación de los índices numéricos nos encontramos con que el Rasti puede relacionarse con la escala de inteligibilidad subjetiva obtenida por comparación entre un indicador ampliamente utilizado como es el porcentaje de palabras fonéticamente equilibradas y los métodos desarrollados a partir del índice de transmisión de la palabra establecidos por Steeneken (op. cit.).

De las medidas Rasti también podemos extraer información referente a las propiedades acústicas del recinto que estamos midiendo, utilizando la Función de Transferencia de Modulación (MTF). Lo que representa la MTF es simplemente un gráfico del factor modulación-reducción, que nos lo indica el sistema y viene representado entre 0 y 1, establecido en función de la frecuencia de modulación. Una MTF complicada indica que se

produce algún tipo de interferencia debida a determinados tipos de eco que deben definirse por otros métodos. Si la MTF es lineal a lo largo de la frecuencia entonces la fuente de interferencia es ruido; si la MTF tiene pendiente negativa entonces la interferencia es reverberación.

Aplicaciones del RASTI

Es preciso tener en cuenta que el procedimiento que estudiamos es aplicable a recintos y salas de audición ya acondicionados. Por tanto no nos permite utilizarlo como herramienta de prospección en la aplicación al diseño de estructuras. Fundamentalmente el método Rasti identifica áreas de poca inteligibilidad de palabra en un recinto construido y, al ser un método rápido, los resultados se pueden presentar en forma de gráfico de contornos que podríamos definir como iso-Rasti, queriendo imitar las cotas de nivel de los mapas geográficos o los mapas de ruido con curvas de nivel llamadas iso-fónicas.

Utilizando este método se pueden probar simultáneamente los sistemas electroacústicos de megafonía y de refuerzo de sonido con unidades de retardo, bien con la fuente situada en la posición del micrófono o conectados eléctricamente al sistema y de este modo se comprueba

simultáneamente el sistema electroacústico completo.

Para el caso de las salas de audición podemos utilizar también éste método para valorar la aptitud de un recinto para el registro magnético de la palabra y a la vez hacemos una idea aproximada para la música. Sería el caso de determinar el grado de intimidad acústica de una habitación respecto a otras adyacentes en las que se están produciendo determinados niveles de presión sonora. En este último caso, se debería obtener un Rasti inferior a 0,3 considerando que el emisor estuviera instalado dentro de una sala y se mantuviera el receptor en la adyacente. Es muy adecuado para determinar cierto tipo de interferencias, sobre todo debidas al ruido, en salas de control de recintos dedicados a grabación y/o escucha, como por ejemplo estudios de radio o estudios de televisión.

Como ejemplo importante de utilización del método que estudiamos, podemos citar la metodología de análisis de características acústicas que, incorporando el sistema RASTI como demostración, se llevó a cabo recientemente en la Catedral de Saint Paul en Londres ³⁴.

Música y acústica.

Las necesidades acústicas del recinto dedicado a la música difieren en cierta medida de las que tiene un recinto dedicado a la palabra.

Ya hemos visto que el primer requisito para la palabra era la ausencia de nivel de ruido de fondo con el objetivo de la mejor inteligibilidad, además del bajo tiempo de reverberación.

No puede decirse que estas características no sean deseables en un recinto dedicado a la música, pero son mucho más matizables y desde luego el problema se hace mucho más complejo. Solamente como primera premisa ya hay que tener en cuenta el ancho de banda en frecuencia de la música que es mucho más amplio que el de la palabra, duplicando casi la cantidad de octavas presentes. Como consecuencia la riqueza de armónicos se incrementa notablemente y surgen de manera natural determinadas interacciones de frecuencias y niveles presentes en cualquier recinto de cualquier dimensión.

Se han realizado multitud de estudios, a partir de los años 50 sobre

todo, que han tratado de profundizar en las características específicas de las salas de conciertos desde una perspectiva científica utilizando términos extraídos de la física y su desarrollo concreto en el medio acústico. La aparición de los primeros magnetófonos, incrementaron las posibilidades de análisis al permitir realizar grabaciones en distintos lugares y procesarlos en el laboratorio con los instrumentos de medida adecuados.

Los más significativos y completos fueron los realizados en los años 50 y 60 por SCHROEDER en Alemania, LEIPP en Francia y BERANEK en USA. (En España se creaba por estos años en Madrid, un Departamento de Acústica que quedaba integrado en el Instituto de Física Aplicada "L.Torres Quevedo", perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

El más significativo, completo y el más citado en cuantos estudios se realizan buscando relacionar la música y la acústica mediante análisis matemáticos y técnicas modernas, es el de Leo Beranek que en su libro "Music, Acoustics and Architecture" definió con gran precisión los parámetros más importantes, tanto objetivos como subjetivos, que relacionan ambas disciplinas y que estudiaremos a continuación.

No es una tarea sencilla buscar la relación entre estas dos formas de expresión tan íntimamente unidas en su objeto de estudio, es decir, el sonido, y que estén tan alejadas, cada vez menos por fortuna, en sus

conexiones interdisciplinarias, de investigación e incluso en sus expresiones lingüísticas más sencillas.

Las definiciones más importantes de los atributos que relacionan la música y sus características acústicas se pueden reducir a los tres considerados como más significativos, siendo tal vez los más utilizados (WHITE, 1975, p.431; BALLOU, 1988, p. 175; EARGLE, 1992, p. 63).

Estos son: INTIMIDAD, VIVEZA y CALIDEZ.

El grado de intimidad o "presencia" de un recinto es considerado quizás, el factor subjetivo más importante que lo define. Implica una sensación de proximidad del sujeto que escucha al sujeto u objeto que es escuchado.

Objetivamente se mide utilizando dos dimensiones. Una es la relación entre los niveles sonoros del sonido directo, respecto al sonido reflejado. La otra viene especificada por lo que, recientemente, se conoce como ITGD: Initial Time Delay Gap (BALLOU, 1987, p. 169), que es el intervalo entre la llegada del sonido directo emitido desde el escenario o la pantalla y la llegada de la primera reflexión desde las paredes o el techo.

Para que este grado de intimidad sea percibido claramente, este intervalo de tiempo debe oscilar entre 15 y 20 milisegundos.

Para distancias oyente - fuente sonora que provoquen retardos

superiores, es necesario controlar los sonidos reflejados, modificando los techos y paredes mediante reflectores estratégicamente situados.

El grado de viveza de una sala de audición implica una cantidad de reverberaciones, relativamente alta, en el rango de las frecuencias medias (entre 500 Hz y 2 KHz). Es un atributo característico sobre todo de recintos de tamaño medio. Por ejemplo, se puede observar este efecto en los salones para el aprendizaje de la danza clásica y en determinados gimnasios. Es debido a la reflexiones motivadas por las superficies especulares y los acabados plastificados que realzan las frecuencias medias-altas, junto a la absorción de bajas frecuencias de la madera del suelo y alguna de las paredes.

También está relacionado con la diferencia entre el volumen total del recinto y el área dedicada a la escucha en determinados lugares con techos muy altos y donde la mayor parte de la absorción está producida por los asientos y la audiencia.

El grado de calidez está asociado a los tiempos de reverberación altos predominando en las frecuencias bajas (entre 125 Hz y 250 Hz) en relación con las frecuencias medias.

Se dice que el sonido es frágil, quebradizo, si el tiempo de reverberación de graves es más corto que el de medios.

La calidez adecuada, también expresado como plenitud de graves, requiere que el tiempo de reverberación promedio de las bandas de octava: 125 Hz y 250 Hz, sean como mínimo: 1,25 veces mayor que el tiempo de reverberación promedio de los tercios 500 Hz y 1000 Hz.

Las deficiencias en bajas frecuencias casi siempre son debidas a un exceso de absorción en el recinto provocado por los materiales utilizados en las superficies. Demasiada madera y/o demasiada moqueta o cortinas en salas de reducidas dimensiones acusa mucho más este defecto que en las grandes, provocando la aparición de ondas estacionarias que provocan irregularidades significativas en los graves, y por tanto desequilibrios en el margen de frecuencias audible.

Existe una gran variedad de adjetivos, además de los anteriores estudiados, que se utilizan en el mundo musical para definir factores subjetivos, sensaciones percibidas, que no tienen muchas veces una correspondencia objetiva en el ámbito de la acústica. Otros por el contrario, pueden definirse en función de dos o más características acústicas medibles. Veamos una selección de los más usuales.

La definición o claridad en la música se puede comparar a la

inteligibilidad de la palabra. Está afectada por varios factores como el tiempo de reverberación o el tiempo de llegada de las reflexiones cercanas, de modo similar a como estos tiempos influyen en el grado de intimidad.

El tipo de recinto, pero también el tipo de música, necesitan un grado diferente de definición. No es lo mismo una gran orquesta con cien músicos que un concierto barroco con diecisiete, influyendo además el tiempo de separación entre notas contiguas.

La plenitud de tono se podría definir como la inversa de la definición. Es el cambio que experimenta el sonido emitido por una fuente cuando se le añade reverberación. Esta reverberación, que mantiene unos instantes las notas musicales, rellena el espacio entre ellas, y provoca una especie de combinación o mezcla entre notas sucesivas.

Como puede comprenderse algunos tipos de composición musical, sobre todo de instrumentos con tiempos de ataque largos, como el órgano y la trompeta, requieren que esta plenitud se resalte.

Un solo de flauta barroca necesita un alto grado de definición, para poder percibir todos sus matices. Sin embargo un órgano de tubos, sobre todo del periodo romántico, precisa un alto grado de plenitud de tono para ofrecer todo su potencial musical.

El brillo o brillantez describe la riqueza armónica del sonido sobre todo en las frecuencias agudas (entre 4 KHz y 8 kHz).

Objetivamente se expresa a través de la medida de la respuesta en amplitud para alta frecuencia.

Resulta una característica poderosamente influida por la absorción del aire en los recintos muy grandes y por los materiales de coeficientes altos en recintos pequeños.

La relación de este margen de frecuencias con la banda de frecuencias medias provoca una gran susceptibilidad en la sensación auditiva. Con objeto de no resultar "apagado" es conveniente realzar el tiempo de reverberación e incluso el nivel sonoro en esta zona del espectro.

El balance o equilibrio indica la sonoridad relativa de cuantos elementos intervienen en la representación. En el caso de una orquesta requiere una gran ductilidad por parte del director para combinar los sonidos individuales de los instrumentos hasta conseguir una mezcla homogénea y que el resultado aparezca como un conjunto armónico que toca al unísono.

En un sistema de reproducción estereofónico decimos que hay equilibrio o que el conjunto presenta un buen "balance", cuando la imagen auditiva ofrece la misma cantidad de información en el canal derecho que

en el canal izquierdo aproximadamente.

Por último la uniformidad o difusión tonal de las características sonoras de un recinto es el compendio de todos los factores aludidos.

Es importante y debe ser el objetivo en el diseño de cualquier sala de audición, aún sabiendo que, prácticamente, es una utopía inalcanzable, dada la enorme cantidad de variables que intervienen.

Como regla general que defina la característica de uniformidad de una sala de audición podemos recoger la expresada por Stevens que de un modo simple resume un conjunto de factores:

"Dos asientos cualesquiera de una sala de audición no es preciso que tengan exactamente el mismo campo sonoro, pero en una buena sala un oyente experimentado no debe encontrar diferencias entre su asiento, el de delante, el de detrás y los situados a ambos lados".(STEVENS, op.cit.,p. 84)

La Acústica y el Compositor

Mucho antes de que la era de la electrónica nos proporcionara herramientas con las cuales medir la relación entre la música y la acústica, los músicos ya habían llegado a comprender ciertas relaciones básicas entre las cualidades musicales y los espacios en los que son reproducidas. Las grandes iglesias de piedra medievales requerían una composición musical muy diferente de aquella que se requería para las salas íntimas de música en las casas de los nobles.

A través de la historia de la música, puede detectarse una cierta correspondencia entre el estilo de la composición y las características acústicas de los espacios destinados al concierto para el que se componía.

El comienzo del legado de nuestra música de concierto se sitúa en el periodo barroco (aproximadamente entre 1600 y 1750) del cual Haendel y J. S. Bach son dos de los más significativos compositores. El concierto y la sonata fueron las principales formas de música instrumental que se desarrollaron en éste periodo. El estilo musical barroco es muy ornamental

y busca siempre el contrapunto. Las diferentes líneas independientes que se están ejecutando a un tiempo en cada compás requieren que el oyente sea capaz de escuchar el detalle de la música muy claramente; la reverberación no debe causar ningún tipo de entorpecimiento. Esta atención que se pide en la audición era posible mantenerla en la época en la que se compusieron gracias a las pequeñas salas de música de la corte y de los salones de la nobleza, donde se tocaba frecuentemente aquella música instrumental. Salas con un tiempo de reverberación no superior a 1,5 s ; con un grado elevado de intimidad, y con una gran definición. En definitiva era una música hecha para interiores de reducido tamaño y para un público muy restringido. Las presentaciones orquestales en salas públicas de gran tamaño no aparecieron hasta mucho más tarde.

El periodo clásico (1750 hasta 1820) puede decirse que comienza a partir de la muerte de Bach. Los mayores compositores de este periodo fueron Beethoven, Haydn, y Mozart. Continuaron desarrollando la sonata e introdujeron una nueva forma, la sinfonía, que desde un punto de vista instrumental creció de forma continuada hasta dominar la forma musical , siendo todavía habitual en nuestro tiempo.

La sinfonía requería un número mayor de músicos y, por lo tanto, un mayor espacio para su representación. No solo había aumentado la cantidad de personas en el escenario, sino que se habían incrementado los niveles de

presión sonora que era capaz de producir la orquesta. Las representaciones públicas comenzaron en los años finales del siglo XVIII, muchos de ellos aprovechando los escenarios de los palacios de ópera.

No fue hasta mediados del siglo XIX cuando comenzaron a construirse, diseñadas especialmente, grandes salas para grandes orquestas. Así como las salas crecían de tamaño, el tiempo de reverberación se incrementaba proporcionalmente; el periodo clásico puede asociarse con un tiempo de reverberación más elevado que el del periodo anterior, situándose en torno a 1,7 segundos aproximadamente.

La claridad en los detalles continuó siendo tan importante como lo había sido en el barroco; pero con un tiempo de reverberación mayor así como con una mayor orquesta, el conjunto se llenaba de tonalidades y matices que empezaban a tomar mucha más importancia. Las últimas sinfonías de Beethoven comenzaron la transición desde la estructura formal del estilo clásico hasta la música más emotiva del periodo romántico.

El estilo romántico (1820 hasta más allá de 1890) vivió con la idea de conseguir armónicos todavía más complejos en las orquestas, dado que lo que se pretendía era llevar las ricas experiencias emocionales más allá de las intenciones intelectuales del detalle en el estilo barroco y clásico. Las magníficas salas de concierto construídas a mediados del siglo XIX, con una media de tiempo de reverberación de 2,2 segundos aproximadamente,

reflejaban el deseo de los músicos de ofrecer una riqueza de tonalidades más completa y una mayor sonoridad, incluso a pesar de la correspondiente pérdida de definición que implica.

El siglo XX ha producido otros cambios en el estilo musical. Además de continuarse con el emocionalismo y la experimentación de los últimos periodos románticos, ha habido una renovación clara del interés por las música de las primeras épocas. Hasta este siglo, los programas de conciertos se componían usualmente a base de trabajos contemporáneos, con mayor énfasis en la ejecución de las nuevas composiciones. Las obras más antiguas, incluso de tan sólo una generación anterior, se interpretaba muy raras veces. La vastísima y , hoy tan conocida, obra musical de Bach, por ejemplo, no estuvo presente en los conciertos más importantes, desde su muerte en 1750 hasta que Mendelssohn ejecutó su "Pasión según San Mateo" en 1829.

El repertorio orquestal existente nos ofrece más de 400 años de descubrimientos musicales. También se extienden a lo largo de 400 años las experimentaciones asociadas en el ámbito de la acústica, incluyendo un rango de incremento del tiempo de reverberación mayor de 1 segundo. Consecuentemente, dados los avances tecnológicos disponibles, hoy cabe esperar de las salas de concierto más y mejores sensaciones que en ninguna otra época.

Acústica de salas de dimensiones reducidas.

Al hablar de pequeños recintos nos estamos refiriendo a salas con unas dimensiones que pueden oscilar entre 70 y 200 metros cúbicos, utilizados para la reproducción de audio y video, con posibles aplicaciones para la grabación sonora. Son salas que distan mucho de las proporciones de las salas de concierto habituales donde se superan los 5000 metros cúbicos y que, precisamente debido a estas dimensiones y la aplicación para la que fueron diseñadas, deben estudiarse por separado y planteándolas con otro tipo de exigencias.

Sin embargo las variables más elementales que se presentan en cualquier tipo de recinto, se van a conservar también en los recintos pequeños, apareciendo a su vez otras diferentes.

El abanico de posibilidades de utilización de este tipo de salas es bastante amplio. Desde las salas domésticas, habitualmente utilizadas para usos variados, no sólo para la escucha sino también como sala de estar, hasta las salas dedicadas exclusivamente a la reproducción de audio y video, o cualquier otro tipo de soporte audiovisual, que podemos identificar como sala multimedia.

Las nuevas tecnologías pueden llegar a ofrecernos las técnicas de reproducción audiovisual más sofisticadas puesto que se apoyan en la electrónica digital y los avances en este campo son espectaculares.

Así los sistemas de proyección de imágenes aportan cada día nuevos dispositivos, basados en gran parte en el desarrollo de los componentes electrónicos, posibilitando ajustes automatizados de gran precisión y mayor cantidad de matices a reproducir.

La implementación del audio digital en los procesos de grabación sonora, así como en la mayoría de los sistemas de vídeo, y muy pronto en gran parte de los sistemas convencionales cinematográficos, ofrece una calidad en la reproducción de la imagen auditiva difícil de mejorar.

Sin embargo, como estamos viendo, todo el proceso de transducción de energía sonora de alta fidelidad está seriamente condicionado por la acústica del lugar donde se lleva a cabo la reproducción. Inevitablemente el transporte o transducción del sonido debe suceder en un recinto donde se sitúa el sistema de pantallas acústicas hasta el sistema auditivo del oyente (salvo que se utilicen auriculares). En el camino, una parte de ese sonido queda reflejado en las distintas superficies (paredes, techo, suelo), en el mobiliario de la sala e incluso en los cuerpos de las personas que asisten a la representación.

El espacio acústico es pues una de las variables importantes con la

que nos encontramos en cualquier sistema de presentación audiovisual y debe ser diseñado cuidadosamente con objeto de evitar que modifique las potenciales características del sistema.

Al hablar de sistemas de representación audiovisual, nos estamos refiriendo, de un modo general, a sistemas instalados en recintos convencionales de tamaño medio como: Sala doméstica para hi-fi, sala cinematográfica o un recinto que integre varios sistemas y que podríamos definir como sala multimedia.

Otra clase de recintos similares son, en algunos casos, los museos y cualquier otro tipo de espacio destinado a presentaciones audiovisuales tales como exposiciones o muestras, incluso los dedicados a la enseñanza.

El objeto de este trabajo no es el estudio exhaustivo de la transmisión acústica en salas de audición, lo que necesariamente implicaría un estudio de correlación entre las distintas variables que intervienen en el proceso.

Nosotros vamos a tomar como referencia alguno de los análisis más significativos llevados a cabo experimentalmente por expertos en el campo de la ingeniería acústica y extraer de ellos alguno de los principios que, junto con nuestra experiencia profesional, nos sirvan de modo general, para controlar y modificar esta variable, parte de nuestro estudio, definida como acústica de salas.

Se han realizado una gran variedad de estudios experimentales en los

que se observa claramente la influencia del lugar, acústicamente hablando, sobre los sistemas de reproducción. Uno de los más significativos es el realizado por Henning Møller, ingeniero danés de la empresa de reconocido prestigio internacional Brüel & Kjaer, dedicada a la investigación y desarrollo de transductores de precisión e instrumentación científica aplicados a la acústica. En B&K se han promocionado multitud de ensayos relacionados con en este ámbito específico. Uno de los más interesantes y reveladores fue este ensayo comparativo de distintos transductores electroacústicos en diferentes salas de audición. El rigor y la precisión con que fue preparado le ha dado un gran valor científico por lo que es citado en cuantos estudios se realizan sobre el tema.

Se presenta la respuesta en amplitud expresada en dB a lo largo de la frecuencia (20 - 20.000 Hz), en el eje de coordenadas, de cinco parejas de pantallas acústicas de calidad alta en tres tipos de salas de audición diferentes. En los gráficos que se transcriben a continuación, se puede apreciar una influencia evidente de la variable citada, espacio acústico, en la respuesta global de los cinco transductores.

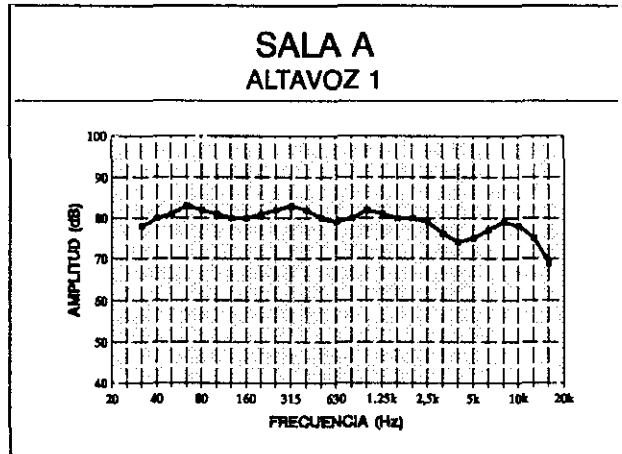
Este estudio, realizado con dos sistemas de instrumentación diferentes, uno de análisis en tiempo real procesado por ordenador y otro utilizando aparatos de medida convencionales como un sonómetro y un generador de ruido rosa, se complementa con un ensayo subjetivo de

percepción auditiva con oyentes entrenados. Existe una correlación evidente entre uno y otro, expresada en términos estadísticos.

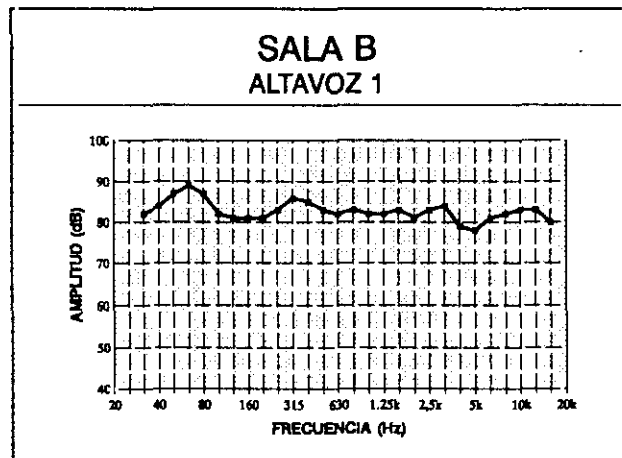
Es necesario hacer hincapié en que la respuesta obtenida y reflejada en cada uno de los 15 gráficos independientes, es un respuesta promediada de al menos 6 puntos diferentes de situación de instrumentos de medida en cada una de las salas estudiada. Correspondiéndose, por tanto, con un promedio de lugares habituales de escucha.

Este experimento ha sido corroborado en el Instituto de Acústica, utilizando el mismo instrumental de análisis que Møller y con similar procedimiento. En éste caso se utilizaron dos parejas de pantallas acústicas de alta calidad, en tres salas diferentes, con la particularidad de que uno de los recintos fue una "Cámara Anecóica" de 200 metros cúbicos, con unas características acústicas ideales. (M. Sigüero, 1989, "Ensayo comparativo de altavoces". Informe inédito de uso restringido. Publicado parcialmente en la revista "Ciudadano" en Septiembre de 1991).

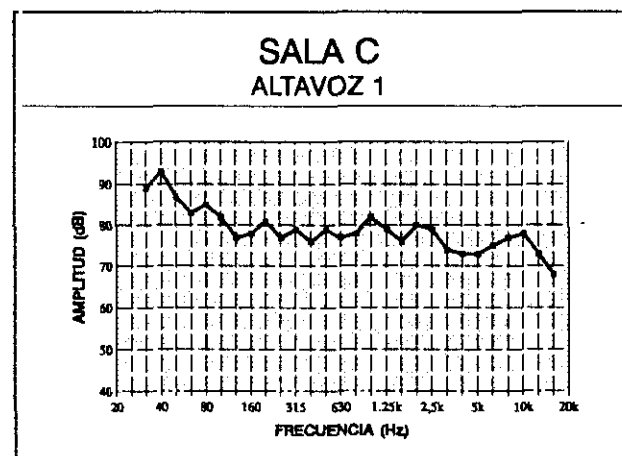
Sala de referencia para el altavoz número 1.



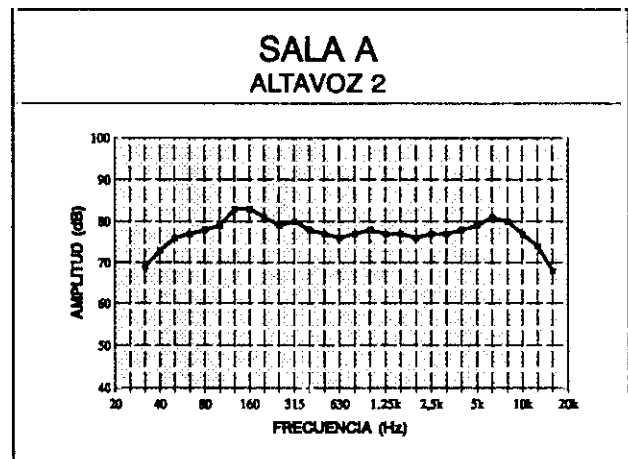
El altavoz 1 en esta sala incrementa su respuesta en frecuencia general. Se acentúan los 50 Hz.



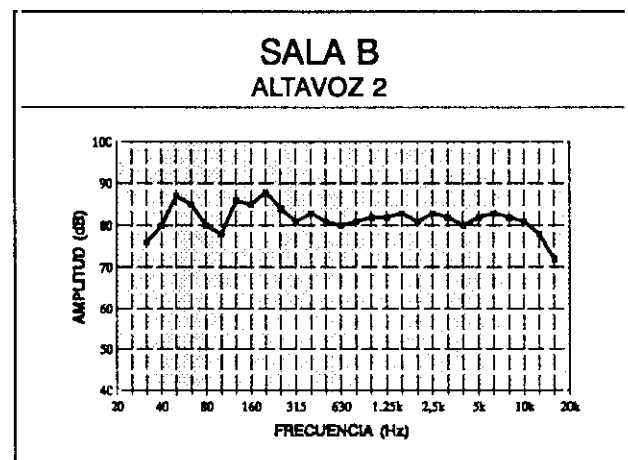
Se incrementan las bajas frecuencias y aumenta el desequilibrio entre graves y agudos.



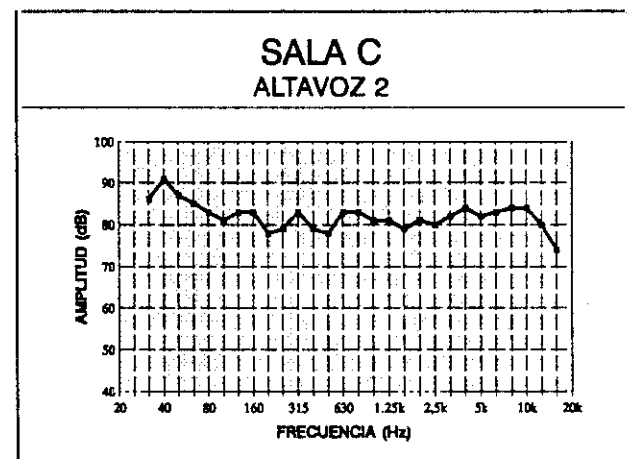
Sala de referencia para el altavoz número 2.



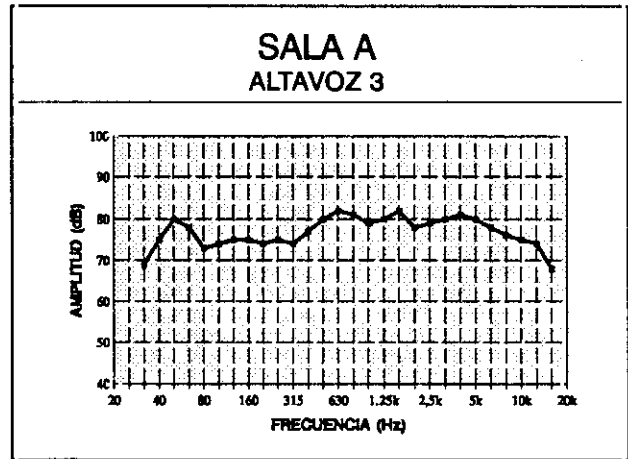
El altavoz 2 en la sala B mejora sensiblemente las muy bajas frecuencias, y parte de los medios-bajos.



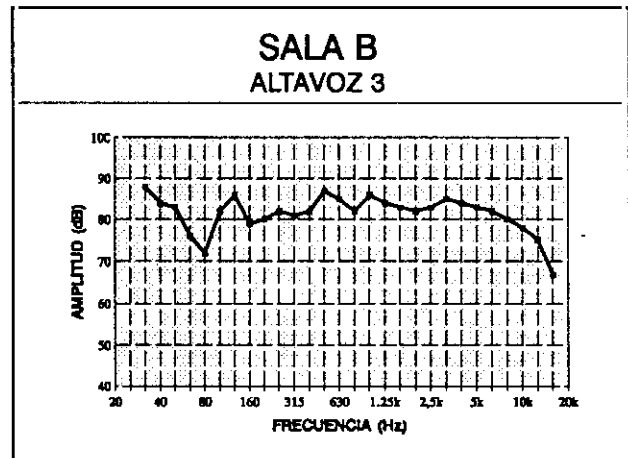
En la sala C, el altavoz 2 mantiene la respuesta global y se realzan en exceso los sub-graves.



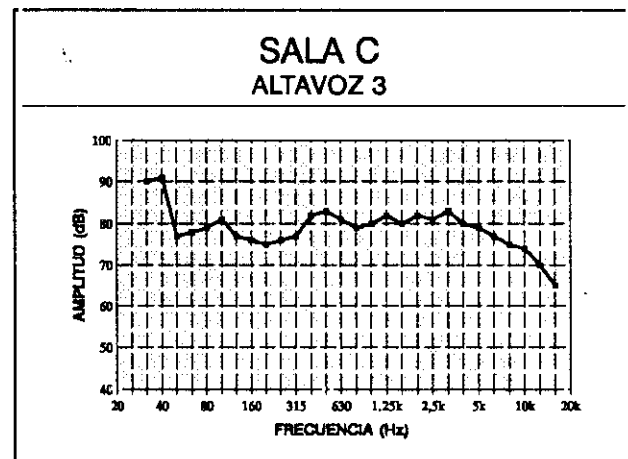
Sala de referencia para el altavoz número 3.



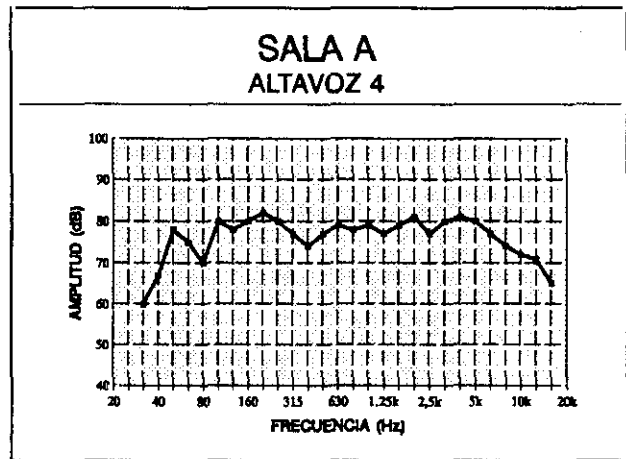
Incremento del nivel general y pérdida de 5 dB en los 80 Hz.
Incremento de los sub-graves.



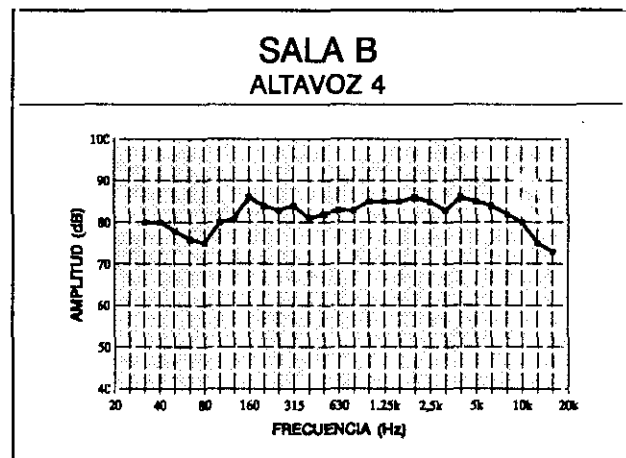
Exagerado aumento relativo de las frecuencias muy bajas.



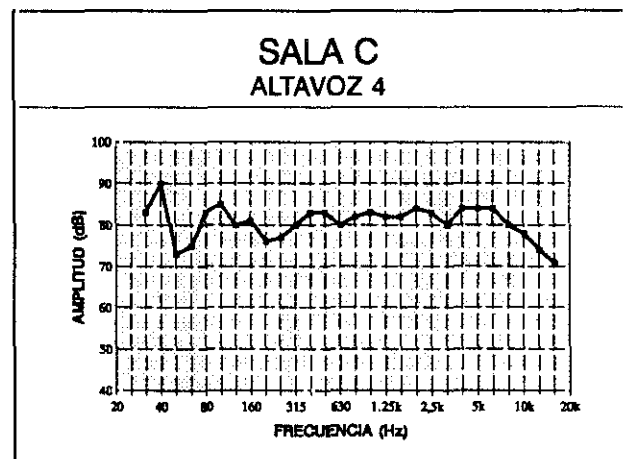
Sala de referencia para el altavoz número 4.



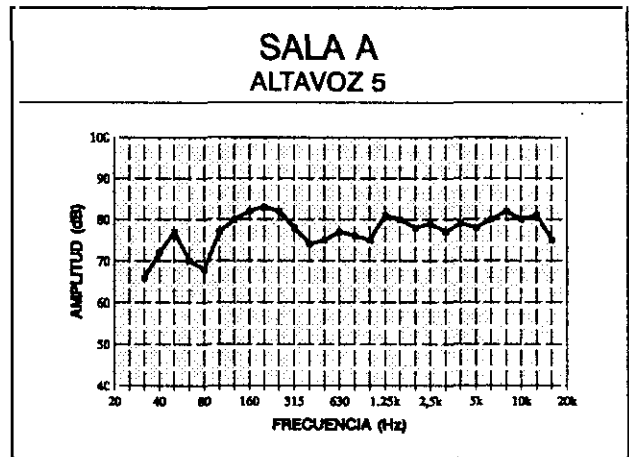
Se acentúa el nivel general en todo el margen de frecuencias un promedio de 4-5 dB.



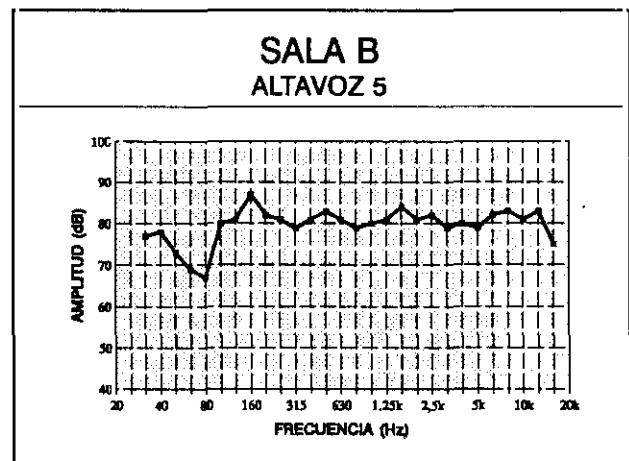
Respuesta aceptable entre 300 Hz y 10 kHz. Descompensación de las frecuencias graves.



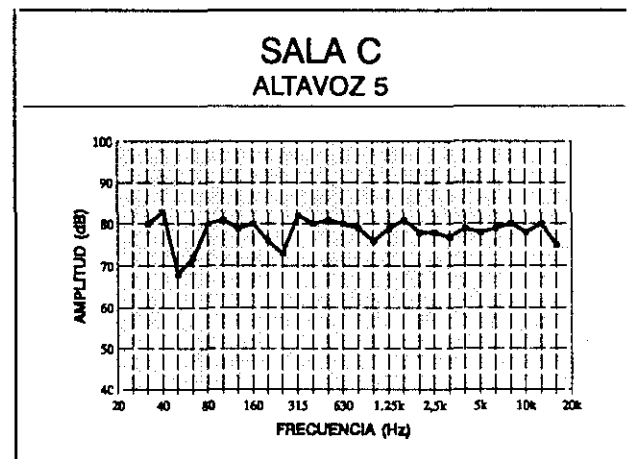
Sala de referencia para el altavoz número 5.



Mejora el promedio lineal de la respuesta entre 200 Hz y 12 kHz.



Respuesta promedio aceptable, excepto las pérdidas en 50 y 250 Hz.



Dentro de ésta clasificación de salas reducidas estarían las salas de control de los grandes estudios dedicados a la grabación de sonido. Sin embargo, aunque las normas básicas sean similares en muchos aspectos, las exigencias de la sala de control son mucho más estrictas, aunque por supuesto imitables para cualquier otro tipo de recinto.

Ya hemos estudiado anteriormente la enorme influencia del espacio acústico en los procesos de grabación y reproducción. Un disco o una cinta son el resultado de un proceso de captación y elaboración en el que la acústica del recinto donde se llevó a cabo ya forma parte de modo tan indeleble como cada una de las notas de la composición.

Un tiempo de reverberación de 2 segundos, propio de la sala de conciertos donde se realizó la grabación, ha afectado no sólo a las partes de percusión, por poner un ejemplo, o a los solos de piano, sino a la totalidad de la música grabada.

En el caso de otro tipo de grabación, por ejemplo de música popular o "rock and roll", las condiciones que han intervenido son completamente distintas a las de la grabación de un concierto de música clásica. Por lo general se graba cada instrumento eléctrico o acústico por separado, y las voces y los arreglos orquestales también por separado. Pueden llegar a tener originalmente hasta 32 canales que se distribuyen en la mesa de mezclas

hasta obtener el balance adecuado y, a juicio de productor y compositor, se fijan los dos canales estereofónicos definitivos.

En esta última mezcla se incluyen muchos efectos especiales que se realizan modificando bandas de frecuencia, o introduciendo desfases, pero también incluyendo reverberación artificial para darle al conjunto un carácter homogéneo. Esto es igualmente válido en el caso de grabaciones audiovisuales.

Es evidente entonces que las características para las que deberemos preparar nuestra sala de escucha, no se pueden limitar a cumplir con unos parámetros específicos para un único tipo de reproducción, sino que debe ser más versátil.

Desde el punto de vista de la geometría existen multitud de formas que puede tomar un recinto, cilíndricas o poliédricas. Algunas de estas formas, han quedado eliminadas, acústicamente hablando, puesto que provocaban una focalización excesiva de determinadas frecuencias, y focalizar es lo contrario de lo que se busca en una sala de escucha, que es la difusión perfecta de los sonidos de cualquier frecuencia.

Por ejemplo, los recintos con formas parabólicas son notorios por concentrar muchas frecuencias, pero sobre todo las más cercanas al espectro de la voz humana, en dos puntos que se corresponden con los focos de la parábola. Las concavidades semiesféricas de muchos techos abovedados,

son también agradables estéticamente, pero de complicado y laborioso aprovechamiento acústico, por concentrar el sonido de ciertas frecuencias en determinados puntos en detrimento de otros, es decir, por focalizar excesivamente como en el caso de la parábola.

Es sabido que, acústicamente hablando, una sala en forma de hexaedro o cubo es una especie de anatema a lo que se debe renunciar de antemano. Cuando las tres dimensiones : la anchura, la altura y la longitud tienen idéntica medida, se refuerzan indefinidamente los modos de resonancia propios del recinto ³⁵.

La popularidad de los recintos rectangulares se debe, en parte, a lo económico de su construcción, por ser lo habitual y más sencillo, pero también a las ventajas que ofrece desde un punto de vista acústico.

Los modos propios de resonancia de este tipo de recintos, axiales, tangenciales y oblicuos se pueden calcular sin demasiada complicación matemática y estudiar su distribución en los tres ejes ortogonales. Una primera aproximación, casi siempre bastante exacta, nos permitirá conocer los modos propios en cada margen de frecuencias; sobre todo los más peligrosos que son los modos axiales reiterativos, por pertenecer a frecuencias muy próximas (diferencia inferior a 3 Hz), o porque determinados armónicos se repiten en más de una ocasión.

La literatura científica ofrece multitud de ensayos desde todos los

ángulos, realizados por especialistas en el ámbito de la acústica. Cada uno ofrece un método de cálculo, un análisis de frecuencia y propone, desde el punto de vista geométrico, unas proporciones determinadas a considerar en este tipo de recintos dedicados a palabra y música.

Volkman en un estudio presentado el año 1942, sobre el acondicionamiento de recintos acústicos propone la relación: 2 : 3 : 5 para las 3 dimensiones: alto, ancho, largo (WOLKMANN, 42).

Bolt, realiza un estudio sistemático de las frecuencias acumulativas, para distintas dimensiones y sus correcciones mediante un análisis estadístico muy completo (BOLT, 46).

Boner propone, en un análisis de las características acústicas que debe reunir un estudio de radio, las relaciones ideales de este tipo de recintos: 1 : (raíz cúbica de 2) : (raíz cúbica de 4), (BONER, 52).

Sepmeyer en el año 1965 lleva a cabo un exhaustivo análisis matemático de cálculo por ordenador para extraer las relaciones más significativas que sean adecuadas a recintos de geometría rectangular (SEPMeyer, 1965) y propone tres relaciones ideales:

$$1,00 : 1,14 : 1,39$$

$$1,00 : 1,28 : 1,54$$

$$1,00 : 1,60 : 2,33$$

Louden, en el año 1971, tras analizar la evolución de todos los armónicos hasta de séptimo orden para distintos modos de resonancia en diferentes salas, propone tres relaciones de dimensión óptima, donde no aparecen reiteraciones significativas (LOUDEN, 1971):

$$1,0 : 1,4 : 1,9$$

$$1,0 : 1,3 : 1,9$$

$$1,0 : 1,5 : 2,1$$

Bonello propone, en el año 1981, un nuevo sistema de análisis de frecuencias modales, basado en la utilización de filtros de tercios de octava. Por último, uno de los más recientes, D'Antonio, un investigador californiano muy respetado en esta disciplina de acústica arquitectónica, en un estudio concreto sobre una sala dedicada a música, cine y video, además de estudiar la incorporación del sistema electroacústico "THX" de Lucas Film (referido anteriormente), propone la relación $1 : 1,4 : 1,9$ para una sala con un altura de tres metros y un volumen total de aproximadamente 80 metros cúbicos.

La tendencia actual se decanta hacia el uso, cada vez con mayor dedicación, de herramientas de análisis basadas en la utilización del ordenador. Muchos programas de aplicación con amplísimas posibilidades de cálculo y análisis se pueden encontrar ya fácilmente ³⁶. Cualquiera de ellos imita gráficamente las condiciones de reflexiones sonoras en recintos

de distintas dimensiones. Permiten además modificar parámetros para adaptarlos a nuestras condiciones y aporta soluciones de diseño arquitectónico y de tratamiento mediante materiales comerciales con características acústicas.

El tipo de materiales y su distribución es de los factores importantes que se debe tener en cuenta en el diseño de una sala de audición. Se calculan, su tamaño y características, a partir del conocimiento del volumen exacto de la sala, que hemos definido con las dimensiones geométricas previamente seleccionadas y de conocer su comportamiento en función de la frecuencia y de medir los tiempos de reverberación en las distintas bandas audibles.

Con todos estos datos, además de los índices de ruido interior y exterior medidos en condiciones normalizadas, podemos calcular las necesidades de absorción que nos proporcionarán los materiales acústicos.

En cualquier manual especializado en estas temas podemos encontrar los coeficientes de absorción de los distintos materiales disponibles. Baste como ejemplo una pequeña relación de los coeficientes promediados a la frecuencia de 500 Hz de algunos elementos habituales en una sala de audición (Las tablas de coeficientes completas se dan para cada tercio de octava entre 125 Hz y 8000 Hz)

Suelo de madera -----	0,08
Pared de yeso -----	0,05
Alfombra densa -----	0,30
Cortinajes -----	0,49
Sofá de tela -----	0,70

El valor numérico de estos coeficientes está referido a la unidad, en metros cuadrados de superficie, y expresada en "sabines". El proceso de medida y la fórmula habitual de cálculo, es la de Sabine, científico citado anteriormente, y define mediante un único número, la relación entre el tiempo de reverberación, la superficie de la sala, su volumen y el cómputo total de los coeficientes de absorción de los materiales que se utilicen.

En el campo concreto de la acústica arquitectónica, según hemos citado antes, los procedimientos de diseño y construcción de recintos dedicados al sonido, tanto para grabación como para reproducción, no han sido ni son absolutamente exactos y una pequeña parte siempre queda inevitablemente confiada al azar.

Se han consumido considerables cantidades de energía en tratar de revelar los misterios que conducen a obtener salas casi perfectas y otras que, no siendo más que repeticiones de las primeras, no llegan a alcanzar

ni mucho menos aquél grado de perfección.

Las salas de audición de dimensiones reducidas, como las que estamos estudiando, están sometidas a similares variaciones que las grandes salas de concierto y se estudian con métodos similares.

Uno de estos estudios, desde el punto de vista psico-acústico, que sirve como referencia a cuantos especialistas se acercan al tema (EVEREST, 1981, p.260; RECUERO, 1990, p.190; EARGLE, 1992, p.62), es enormemente ilustrativo de las posibilidades de una sala de audición como la que nos ocupa. Fue realizado por la compañía japonesa Nippon Gakki en el año 1979, y es considerado como un clásico dentro de la literatura especializada.

Se compararon cuatro salas rectangulares, utilizando un sistema electroacústico de reproducción sonora idéntico en cada uno de ellas.

Se fue modificando la respuesta de cada recinto mediante la variación de los materiales empleados en el revestimiento de las paredes, manteniendo constante los del suelo y el techo.

El ensayo perceptivo utiliza un grupo de sujetos profesionales del medio, muy entrenados en escuchar sonido reproducido estereofónicamente. Los recintos objeto del test disponen de un suelo de parquet y techos de materiales absorbentes conservando cada uno exactamente las condiciones

iniciales. Los parámetros que hacen variar la imagen acústica son el uso o no uso de material absorbente en las paredes y el uso o no uso de cortinajes en la pared trasera.

Los test de audición incluían música vocal e instrumental y los factores que se juzgaban eran cinco:

Localización. Que podría definirse como la facilidad para detectar la situación de determinada voz o instrumento en el margen panorámico ofrecido por la imagen auditiva.

No Coloración. No aparecen incrementos anómalos de determinadas bandas de frecuencia en detrimento de otras.

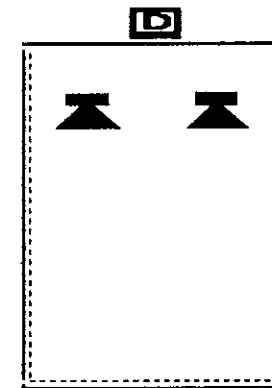
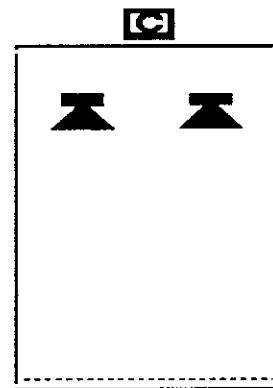
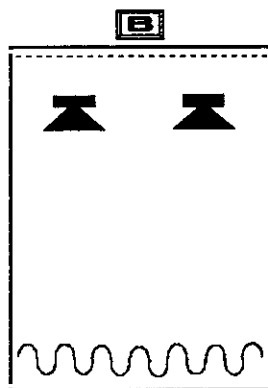
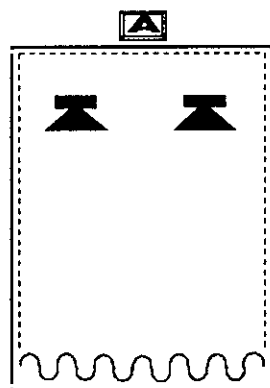
Sonoridad. La cantidad de presión sonora que llega a nuestros oídos en la banda audible.

Ensanchamiento de imagen. Representaría un aumento perceptible del margen panorámico ofrecido por la imagen auditiva. El plano sonoro "se abre".

Perspectiva. Podría definirse como la sensación de profundidad y separación que ofrecen los distintos planos sonoros.

..... Absorbente

~~~~~ Cortina



|                            |       |       |       |         |
|----------------------------|-------|-------|-------|---------|
| · Localización espacial    | BUENA | POBRE | POBRE | REGULAR |
| · Ausencia de coloración   | BUENA | POBRE | POBRE | REGULAR |
| · Sonoridad                | POBRE | BUENA | BUENA | BUENA   |
| · Ensanchamiento de imagen | POBRE | BUENA | BUENA | REGULAR |
| · Perspectiva              | BUENA | BUENA | POBRE | BUENA   |

Los experimentos psicoacústicos se realizaron en ocho salas con diferente tratamiento, pero las más significativas son estas cuatro que presentamos en el gráfico de la página anterior. No se puede afirmar con certeza que alguna de ellas sea la mejor, puesto que depende de la importancia que se le de a cada uno de los parámetros medidos.

La localización de la imagen sonora resulta más precisa en la sala A, en la que observamos que las paredes laterales y la pared frontal, es decir la del plano de los altavoces, están recubiertas de material absorbente al sonido, y la pared trasera está recubierta por una cortina. Sin embargo aquí la sonoridad es pobre y no se percibe un ensanchamiento de imagen tan marcado como en las otras salas.

La disposición A es también la que mejores resultados ofrece porque no introduce coloración (alteración de las cualidades tonales) en la música reproducida, frente a las otras salas que sí introducen coloración debido a que, por tener menos cantidad de absorbente, genera más reflexiones.

La sonoridad se reduce en esta sala debido también a la absorción de los materiales, pero es una dimensión que puede compensarse con un incremento de la ganancia en la amplificación del sistema.



El ensanchamiento de imagen es un factor deseable para la reproducción de ciertos tipos de música y que, por lo que se deduce del estudio, disminuye en el caso de cubrir con material absorbente las paredes laterales de la sala.

Este aspecto de las reflexiones laterales propiciadas por las paredes del recinto es muy interesante y ha motivado muchos estudios que confirman esta característica. Entre ellos (ANDO, 1979; BLAUERT, 1986) que utilizando diferentes métodos de ensayos subjetivos encontraron que las reflexiones laterales son fundamentales para crear una sensación de espacialidad. Esta sensación que se corresponde con la de perspectiva y ensanchamiento de la imagen auditiva, podríamos definirla mediante el enunciado, prestado de los psicofísicos de: impresión espacial que es la característica global que integraría a las demás dimensiones definidas.

Se pueden extraer otras conclusiones tan interesantes como ésta sobre éste tipo de experiencias y cualquiera de ellas sería igualmente significativa. Sin embargo la conclusión general es que la posibilidad de construir una sala perfecta que permitiera cumplir con todas las características deseables es enormemente limitada.

Es por tanto igualmente difícil resumir algunas recomendaciones específicas que puedan utilizarse como guía rápida de actuación. Esto es

---

por la sencilla razón de que cada una de las dimensiones que componen la variable "acústica de recintos", que a su vez define el campo sonoro, es una parte integrante de un sistema interactivo en el que cada componente reacciona con todos los demás.

## NOTAS

28. ARISTOTELES, OBRAS, "Del Alma", Libro II, capítulo 8 "Del sonido y el oído". Traducción del griego de Francisco de P. SAMARANCH, 1964, Aguilar, Madrid.

29. Cualquier manual relacionado con la acústica arquitectónica, necesariamente debe citar referencias de Sabine, y se encuentran fácilmente. Se pueden ver en PIERCE, 1985, p.140 y en WHITE, 1975, p.428.

Como referencia esencial, al ser escritos del propio SABINE, hay que citar su libro, hace años descatalogado, publicado en 1922 por Harvard University Press y titulado "Collected Papers on Acoustics".

30. A partir de los estudios de Knudsen y Harris sobre los factores que afectan a la inteligibilidad en auditorios, en relación con los tiempos de reverberación, French y Steinberg definen y desarrollan el índice de articulación (AI) que más tarde perfecciona Kryter en los años sesenta. Estos y otros estudios dan lugar a la norma americana de inteligibilidad que se emplea actualmente.

31. Estos estudios y sus desarrollos paralelos sobre todo en Europa, ponen más el acento en el proceso de integración y los efectos de enmascaramiento de las reflexiones de un recinto y su influencia en el procesado de la información en nuestro sistema auditivo.

32. El informe ha sido elaborado por personal científico y técnico del Instituto de Acústica, por encargo de la empresa "Dragados y Construcciones" y hasta el momento es de uso restringido y está inédito.

El equipo de investigación estuvo formado por especialistas de diferentes campos, siendo los responsables de la parte electroacústica y megafonía: Dr. J. Pfrezschner y M. Sigüero. El título del estudio es "Soluciones a la acústica de la nueva terminal del aeropuerto de Sevilla" y fue entregado a la empresa contratante en Enero de 1992.

33. El método RASTI que constituye la base de un proyecto de norma internacional, IEC (INternational Electrotechnical Commission), 268 - 16, de 1988, fue inicialmente desarrollado por la empresa ya citada Brüel and Kjaer de Dinamarca y la empresa BBN de Cambridge, al frente de la cual están tres de los más importantes científicos acústicos de los últimos años, presentes en la bibliografía : Bolt, Beranek y Newman.

34. "RASTI Measurements in St. Paul's Cathedral, London" es un amplio estudio elaborado por J.Anderson de la Universidad de Londres y T.Jacobsen, de Brüel and Kjaer, empresa que ha desarrollado el sistema de medida incorporado en un instrumento desarrollado por ellos.

El estudio analiza desde distintas perspectivas, tanto subjetivas como objetivas, la acústica de la catedral, sobre todo los aspectos de inteligibilidad a distintas frecuencias del rango audible. Es de resaltar los larguísimos tiempos de reverberación del recinto a bajas y medias frecuencias que superan los diez segundos en los tercios de octava entre 31,5 Hz y 500 Hz. Las medidas se realizaron con el templo vacío. El volumen total son 152.000 m<sup>3</sup>.

35. Esta característica fundamental ya la conocían los griegos, y se alejaban de ella buscando sobre todo proporciones más armónicas.

CANAC, en su obra ya citada, hace un estudio exhaustivo de los recintos griegos que han llegado hasta nosotros. Basándose en modernos métodos de análisis, nos descubre complicadas y precisas relaciones matemáticas que resaltan la estética de los recintos pero también buscan cumplir determinadas leyes fundamentales de la acústica.

36. SARA - Snell Acoustics Room Analysis  
LEO - Listening Environment Optimizer

Creados por Snell Acoustics, 143 Exxex / St., Havenhill, MA 01832  
USA y " The Roomodes Program" de: Mc Kay, Conant, Rook, 5655,  
Lindero Canyon Road, Westlake Village, CA. 91365, USA.

**CAPITULO V**

*ESTUDIO  
EXPERIMENTAL*

## ESTUDIO EXPERIMENTAL

### INTRODUCCION

La sensación de amplitud de un espacio sonoro virtual junto con la posibilidad de localizar con cierta precisión los elementos que en él están incluidos constituyen, en una primera aproximación, las características que diferencian una grabación estéreo de un monofónica. Crear la ilusión de un gran espacio abierto y mantener en un soporte grabado las separaciones relativas entre los distintos instrumentos de un orquesta y los planos de los vocalistas, son las tareas más importantes que debe abordar un ingeniero de sonido en el instante de la grabación estereofónica.

Esta impresión espacial - que tan acertadamente supieron definir Barron y Marshall (BARRON, 1981) - supone un grado de importancia

similar para los individuos que escuchan, tanto si se trata de un sala de conciertos donde se expresa la música en vivo en ese instante, como si se trata de una sala de audición mediante sonidos emitidos a través del sistema de reproducción electro-acústica.

La impresión espacial es un término lingüístico extraído de las experiencias psico-físicas que nos está indicando una valoración subjetiva de una serie de mediciones objetivas normalizadas. En ocasiones se define con expresiones similares tales como "profundidad", "riqueza musical" , "entorno" o "arropamiento". En términos físicos la impresión espacial está relacionada directamente con la velocidad y la energía de los sonidos laterales de baja frecuencia al llegar a la cabeza del oyente.

Barron nos demuestra que la impresión espacial es fundamentalmente un fenómeno explícito en bajas frecuencias por debajo de los 400 Hz. La energía de los sonidos laterales reflejados por debajo de dicha frecuencia llegan a la cabeza del oyente entre 10 y 100 milisegundos después de los sonidos directos. La cantidad de energía, pues, de determinados anchos de banda entre los 30-50 Hz y los 400-500 Hz, es la que va a conformar dicha impresión espacial, que formará parte, junto a otros factores, de lo que nosotros llamamos percepción de la imagen auditiva global.

Estos estudios de Barron se apoyan en los trabajos de M. R. Schroeder (op. cit.), Ando and Imamura (op. cit.), Blauert (op. cit.) y otros

investigadores psicofísicos que definieron la importancia de la correlación interaural en bajas frecuencias respecto a la energía de las reflexiones laterales en salas de concierto.

Basado en los estudios de Barron, un ingeniero de desarrollo de una gran empresa de instrumentación electroacústica llamado David Griesinger, preocupado por las implicaciones de su trabajo en los fenómenos de percepción auditiva se dedica a correlacionar, desde un punto de vista científico, multitud de medidas con distintas frecuencias de emisión, su relación con los tiempos de llegada y la influencia de las reflexiones laterales, encontrando determinadas interrelaciones presentes en los procesos de grabación y reproducción, antes sólo intuídos.

Lo que Barron deduce para grandes salas de concierto, Griesinger lo aplica a salas de audición más reducidas y demuestra que la velocidad lateral y la cantidad de energía de bajas frecuencias en salas de escucha dependen en un gran porcentaje, de la técnica de grabación empleada en las distintas fases de la edición del soporte y , sobre todo, de la interacción: fuente acústica de emisión - geometría del recinto donde se lleva a cabo la reproducción (GRIESINGER, 1986).

Se ha observado que determinados emplazamientos de parejas de altavoces, restituyen una sensación de espacialidad de mayor amplitud que otros conjuntos de altavoces de categoría similar pero de diferente



configuración. Del mismo modo, estos altavoces que "estrechan" la imagen sonora reproducida, son capaces de ofrecer una sensación de espacio mucho mayor al reproducir música grabada donde la diferencia entre los dos canales estereofónicos, izquierdo y derecho, a bajas frecuencias sea muy acusada. En grabaciones normales dichos altavoces reducen la separación, sobre todo en frecuencias graves, exagerando la similitud con la marcada sensación de centralización que ofrece la imagen monoaural (SIGUERO, 1983 p.77) <sup>37</sup>.

Otra consecuencia que permiten extraer estos estudios es que muchos de los cambios en la localización de imágenes auditivas causadas por la geometría y otros factores de las salas de escucha podrían llegar a ser corregidas electrónicamente al menos en forma parcial, mediante la adecuada utilización de unidades de retardo.

Es este uno de los aspectos que nosotros queremos estudiar con ayuda del instrumento electrónico diseñado. Este prototipo pretende introducir componentes acústicos variables a través de la electrónica, aumentando el número de fuentes acústicas en la sala de escucha, intentando ampliar el espacio virtual, pero también puede permitir la corrección de ciertas perturbaciones en el proceso de localización espacial de imágenes auditivas introducidas por factores derivados de la geometría y el volumen de la sala de escucha.

Nuestro prototipo nos permite disponer de dos señales sonoras laterales que son equivalentes a las frontales del canal izquierdo (I) y canal derecho (D). Pero además introducirán una variación respecto a la señal total estereofónica y ésta viene definida por la posibilidad de un retardo variable. Este retardo se puede modificar de forma sencilla hasta obtener la relación más adecuada en función del volumen de la sala de audición. Simultáneamente disponemos de dos señales proporcionales a cada canal que nosotros utilizamos para añadir información trasera ambiental con el objetivo de recrear un entorno sonoro circundante completo en el perímetro que envuelve al oyente.

El objetivo es intentar conseguir una mejor relación de espacialidad y una mejor definición entre las fuentes sonoras que conformen nuestro ámbito de escucha. Para ello utilizamos como herramienta las variables electro - acústicas que hemos estudiado en los capítulos anteriores: el sistema de reproducción y las características acústicas de la sala de audición. La experiencia se lleva a cabo basándonos en procedimientos normalizados, el instrumental científico adecuado y la inestimable ayuda de un grupo de cualificados oyentes.

## PROTOTIPO EXPERIMENTAL

La evolución que siguen los sistemas de grabación y reproducción, tiende a buscar la representación de una imagen auditiva virtual más elaborada que los sistemas tradicionales de dos canales. Aunque hace años se intentase introducir el sistema cuadrafónico, que presentaba información espacial en cuatro canales del perímetro imaginario que rodea al oyente, ya hemos visto antes con mayor detalle en el presente estudio (Capítulo IV, Apartado "Cuadrafonía") que industrialmente no tuvo éxito. En él se ponen de manifiesto las posibles causas que lo motivaron, tanto desde el punto de vista técnico, como el atribuible a los condicionantes del mercado e incluso los del propio consumidor.

En la época actual, sin embargo, parece que se intenta recuperar la idea de la información sonora espacial, envolvente, alrededor del individuo en actitud de escuchar, alejándose de la imagen auditiva en el plano frontal generada comúnmente a través de dos únicas pantallas acústicas.

Los nuevos sistemas buscan duplicar y en algunos casos, como ciertas derivaciones de la ambifonía, triplicar la cantidad de canales disponibles en la reproducción.

Dichos sistemas, a los que nos hemos referido en el capítulo anterior, están basados en el procesado electrónico digital de la señal de audio, generalmente señales de carácter musical con una gran dinámica, una relación señal-ruido mayor de 65 dB y una respuesta en frecuencia superior a diez octavas. El proceso se inicia en el momento de la grabación inicial, donde deben ya considerarse los elementos técnicos y determinados condicionantes artísticos que estarán presentes en el codificado.

La valoración de aspectos tales como los diagramas de directividad, respuesta en frecuencia y sensibilidad de los micrófonos, el esquema de situación de los actores e instrumentos a grabar, la distribución concreta y ordenada de las pistas de la mesa de mezclas asignándolas, en forma equilibrada, a cada uno de los canales, no son más que una parte del proceso. A ellos debemos añadir los controles de fase y amplitud de la señal, la separación entre canales (normales y codificados) y la información que define los planos horizontal y vertical sumados a los de situación relativa izquierda - derecha y los de arriba - abajo en determinados procesos de síntesis muy elaborados <sup>38</sup>.

Los procesamientos de la señal codificada son complejos puesto que la información de los cuatro o seis canales del sistema debe quedar sintetizada en los dos únicos canales del soporte normalizado, debiendo ser además perfectamente compatible con los sistemas tradicionales de lectura

y reproducción estereofónicos. La señal así grabada precisa un elemento decodificador para reproducir las pistas sintetizadas y extraer así la información completa.

El doble prototipo que hemos diseñado, puesto que consta de dos unidades idénticas, no sigue el esquema de codificado convencional presente en otros sistemas de carácter comercial.

Ha sido desarrollado y calibrado por el autor para este estudio experimental en el Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Utiliza un procedimiento electrónico que genera dos señales que mantienen una relación de espacialidad entre sí, a partir de una señal pregrabada sin codificar, por procedimientos que explicamos más adelante, y no precisa por tanto decodificación.

La función de espacialidad queda definida por una sencilla relación matemática entre retardos y frecuencias de los dos canales característicos de una grabación estererofónica, para simular otros cuatro canales virtuales dispuestos en el perímetro de la sala de audición.

El sistema está basado en la idea de un esquema presentado en revistas científicas de ingeniería acústica de los años 50, por Lauridsen (op.cit. Veasé Pseudo-estereofonía) y en la aportación de esquemas posteriores (DAMASKE, 1968; MELLERT, 1970; MADSEN, 1971) que, a su vez, se basan en la idea original y en las aplicaciones de la psico-

acústica a la percepción de imágenes auditivas.

En el año 1956 Lauridsen presentaba, definitivamente transformado, el segundo prototipo del método que lleva su nombre. Este segundo circuito introducía una mejora sustancial respecto al primero publicado en 1954 (op. cit.). La novedad consistía en un inversor de fase para uno de los dos canales, intercalado en el circuito electrónico y situado inmediatamente después del primer filtro pasa-bajos. El esquema general simplificado se define a continuación:

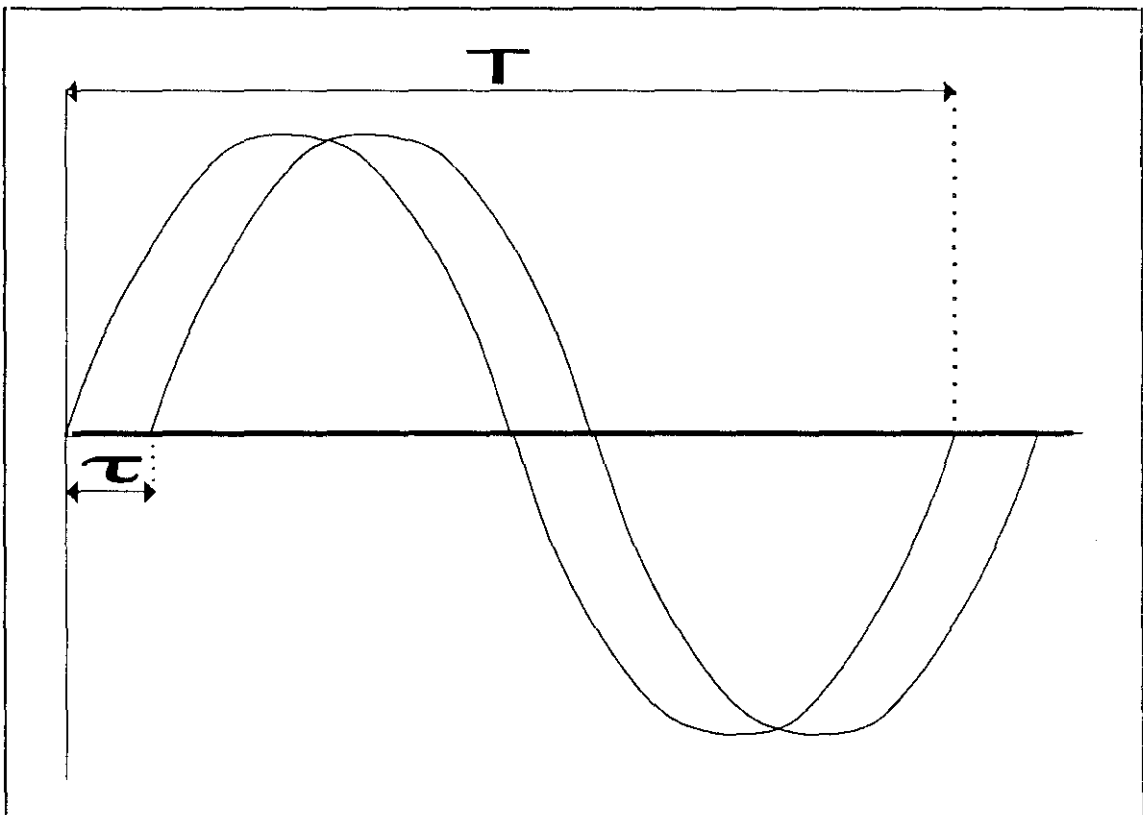
La señal original que se pretende duplicar es enviada a cada uno de los canales laterales, en cada uno de los cuales es sumada a la señal que resulta después de filtrar añadiendo un cierto retardo.

Pero uno de los canales es además desfasado 180 grados respecto del otro canal lo que significa que, a determinadas frecuencias la señal se duplicará, mientras que a otras frecuencias la señal llegará a anularse motivado por coincidir en el mismo instante, dos señales en contrafase.

Analizaremos en primer lugar las relaciones numéricas simples que se establecen entre retardos y desfases para analizar a continuación las relaciones entre retardos y frecuencias.

### Relación entre retardo y desfase.

A todo retardo " $\tau$ " de una señal le corresponde un desfase que está en función de la frecuencia. Mediante un dibujo podemos verlo más fácilmente. Elegimos una frecuencia senoidal pura a la que aplicamos un determinado retardo " $\tau$ ", manteniendo el periodo " $T$ ":



Vemos que la fase de la señal de salida no es la misma que la de la señal de entrada. Mediante una sencilla regla de tres podemos llegar a calcular el desfase angular que corresponde a " $\tau$ ".

Si el retardo fuese  $T$ , es decir el periodo completo, este valor correspondería a 360 grados o  $2\pi$  radianes.

Para un retardo " $\tau$ ", el desfase sería:

$\phi_{SE}$  (desfase de la salida respecto a la entrada).

$$\text{De donde: } \phi_{SE} = 2\pi\tau / T$$

$$\text{Siendo : } 1 / T = f \text{ (frecuencia)}$$

$$\text{Obtenemos que : } \phi_{SE} = 2\pi f \tau$$

Según se deduce de esta fórmula, como decíamos al principio, para un retardo dado, el desfase de la salida respecto a la entrada, depende directamente de la frecuencia. También influyen otros elementos multiplicadores, como es evidente, pero el criterio que nos interesa constatar es que si aumenta la frecuencia, aumentará proporcionalmente el desfase entre salida y entrada.



### Relación entre retardos y frecuencias

Partimos de considerar que el margen completo de frecuencias de audio, es decir lo que suponemos que es la señal original, lo vamos a filtrar o "peinar" siguiendo este sencillo esquema:

Si a una señal se le suma ella misma pero retardada y, considerando que dicho retardo depende de la frecuencia, como hemos visto en el apartado anterior, pueden ocurrir dos cosas:

- A. Que el resultado sea cero y por tanto no exista señal. Sería el caso en el que dos frecuencias iguales pero en contrafase, se sumaran.
- B. Que el resultado se refuerce y la señal aparezca con amplitud doble. Sería el caso en el que se sumaran dos frecuencias iguales en fase. Permanece la misma frecuencia, duplicándose la amplitud.

Esto significa que en la respuesta total del audio filtrado podrá apreciarse la inexistencia prácticamente de señal en determinadas frecuencias y una gran amplitud de señal en otras frecuencias diferentes.

Contemplar el resultado gráfico de este efecto, obtenido en el laboratorio con un generador de señal senoidal y un registrador gráfico, se asemeja a las púas de un peine, de donde obtiene su nombre este filtro.

En las figuras (1) y (2) que aparecen al final de este apartado, puede apreciarse perfectamente la evolución de una señal a lo largo del rango audible de frecuencias. Corresponden estas figuras a las respuestas de amplitud en función de la frecuencia de los canales laterales derecho e izquierdo respectivamente del módulo electrónico desarrollado para este trabajo y es muy significativo.

En la figura numero (3) se presenta el diagrama general de bloques del prototipo donde podemos observar, de manera simplificada pero con una visión de conjunto del sistema, los esquemas de cada una de las partes que se presentan a continuación de éstas, por separado y más desarrolladas, en las figuras números ( 4, 5, 6 y 7).

La señal lateral de entrada, a partir de la cual queremos obtener dos señales pseudo-ambientales, se introduce a través de un amplificador operacional de 20 dB de ganancia, regulables con el potenciómetro de entrada del circuito, situado en el panel frontal.

Para evitar el ruido eléctrico general del sistema a altas frecuencias, introducimos un artificio electrónico basado en un doble filtrado en dos etapas. Primero un circuito de preénfasis (fig. 4) que se compone de un

filtro paso-alto de 6 dB/octava a partir de 1.000 Hz, con lo que conseguimos elevar la señal 18 dB a partir de los 8.000 Hz. El filtro inverso o de desénfasis restaura la señal previamente realzada que queda al nivel que tenía inicialmente (0 dB) una vez que ha pasado por el circuito de retardo inmediatamente anterior.

El circuito de retardo (fig. 5), o registro de desplazamiento consta de dos unidades BBD en cascada de 512 etapas cada una. El nombre del dispositivo semiconductor BBD corresponde a las iniciales "bucket-brigade device", literalmente "brigada de cubos" alude a su principio básico de funcionamiento que consiste en el siguiente proceso <sup>39</sup>.

La señal aplicada a la entrada del circuito, pasa sucesivamente a través de una serie de etapas en forma semejante a como en otro tiempo las brigadas de bomberos, para controlar un incendio, se iban pasando los cubos de agua de mano en mano. Podemos establecer la correcta relación electrónica sabiendo que los cubos de agua equivalen a condensadores, siendo en realidad cantidad de información en lo que consiste la carga almacenada en ellos. El conjunto se comportará como una memoria de transferencia de cargas. Para ello se sitúa un interruptor entre cada dos condensadores sucesivos, que será el encargado de transferir la carga al condensador siguiente.

Ningún condensador podrá aceptar una nueva carga hasta haberse

descargado por completo el precedente, por lo que sólo la mitad de los condensadores llevan información, manteniéndose el resto descargados. La transferencia se realiza, por tanto, en dos etapas y se precisan dos señales para el control de los interruptores.

Las señales necesarias serán suministradas por los impulsos de reloj de un oscilador de cuarzo. Oscilador que debe permitir aplicar una frecuencia de muestreo cuyo valor debe ser como mínimo dos veces la frecuencia de audio que va a ser procesada.

Según el Teorema de Nyquist <sup>40</sup>, para caracterizar una señal analógica de  $N$  ciclos por segundo se necesitan, al menos,  $2N$  muestras por segundo de dicha señal. Si dichas muestras las almacenamos en un registro de desplazamiento, obtendremos a la salida la misma serie de muestras pero retardadas en el tiempo. Este retardo dependerá de la longitud de la línea (o cantidad de etapas) y también de la velocidad con que efectuemos la transferencia de muestras a lo largo del registro (frecuencia de las señales de reloj de control).

Esta función la cumple el reloj (fig. 6) de dos fases que genera una frecuencia constante de 37,5 kHz, suficiente para muestrear el margen de frecuencias audibles que vamos a utilizar. Sin embargo este dispositivo oscilador provoca cierto tipo de ruidos espúreos que es preciso eliminar; es la razón por la que en la etapa final del circuito introducimos un filtro

paso-bajo Butterworth de 6 polos (fig. 7) con lo que conseguimos una atenuación de 36 dB/octava a partir de 12,5 kHz. Suficiente para que nos garantice la eliminación de cualquier ruido de alta frecuencia como el derivado de los osciladores de cuarzo.

En la práctica sería imposible realizar una línea de retardo basada en componentes discretos. Incluso para las bajas frecuencias utilizadas en las aplicaciones típicas de audio, como la estudiada, el número total de condensadores de almacenamiento y conmutadores que se necesitarían para conseguir un retardo razonable sería prohibitivo. Por tanto surge la alternativa de la electrónica integrada y en nuestro caso el circuito de registro que hemos utilizado es el TDA 1022 (citado en la nota 3), de Miniwatt (Philips) de 512 etapas, empleando dos circuitos integrados idénticos, conectados en cascada, para conseguir 1.024 etapas.

La elección de todos estos valores y la obtención de las respuestas en frecuencia presentadas son el resultado final de un elaborado desarrollo técnico desde el punto de vista objetivo. Desde el punto de vista subjetivo, hasta conseguir una sensación auditiva aceptable, ha supuesto la inestimable participación de un grupo de oyentes expertos en repetidos y a veces agotadores ensayos de audición hasta conseguir la mejor respuesta posible del sistema y la sensación percibida más equilibrada.

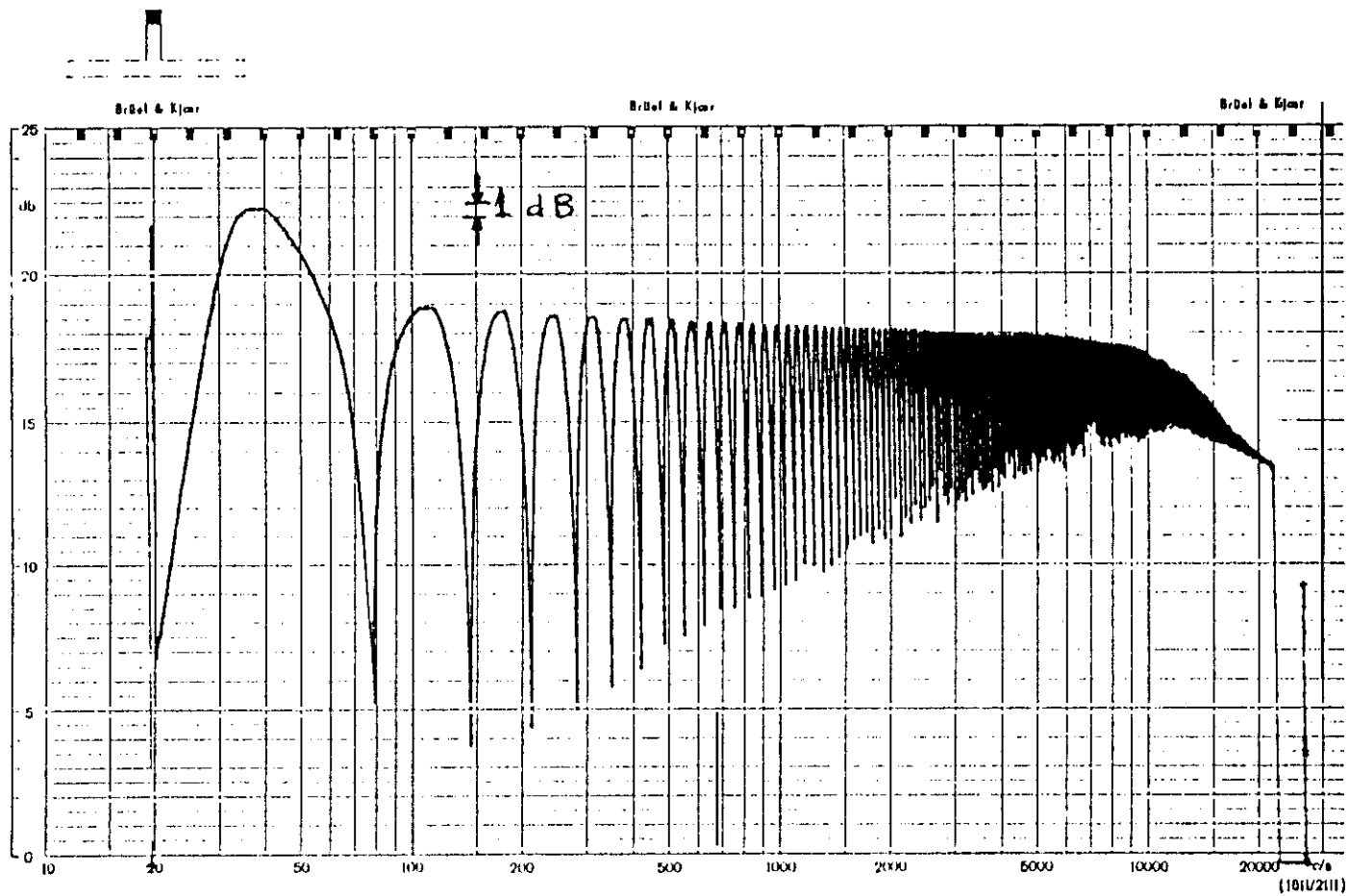


Fig. 1

Canal derecho

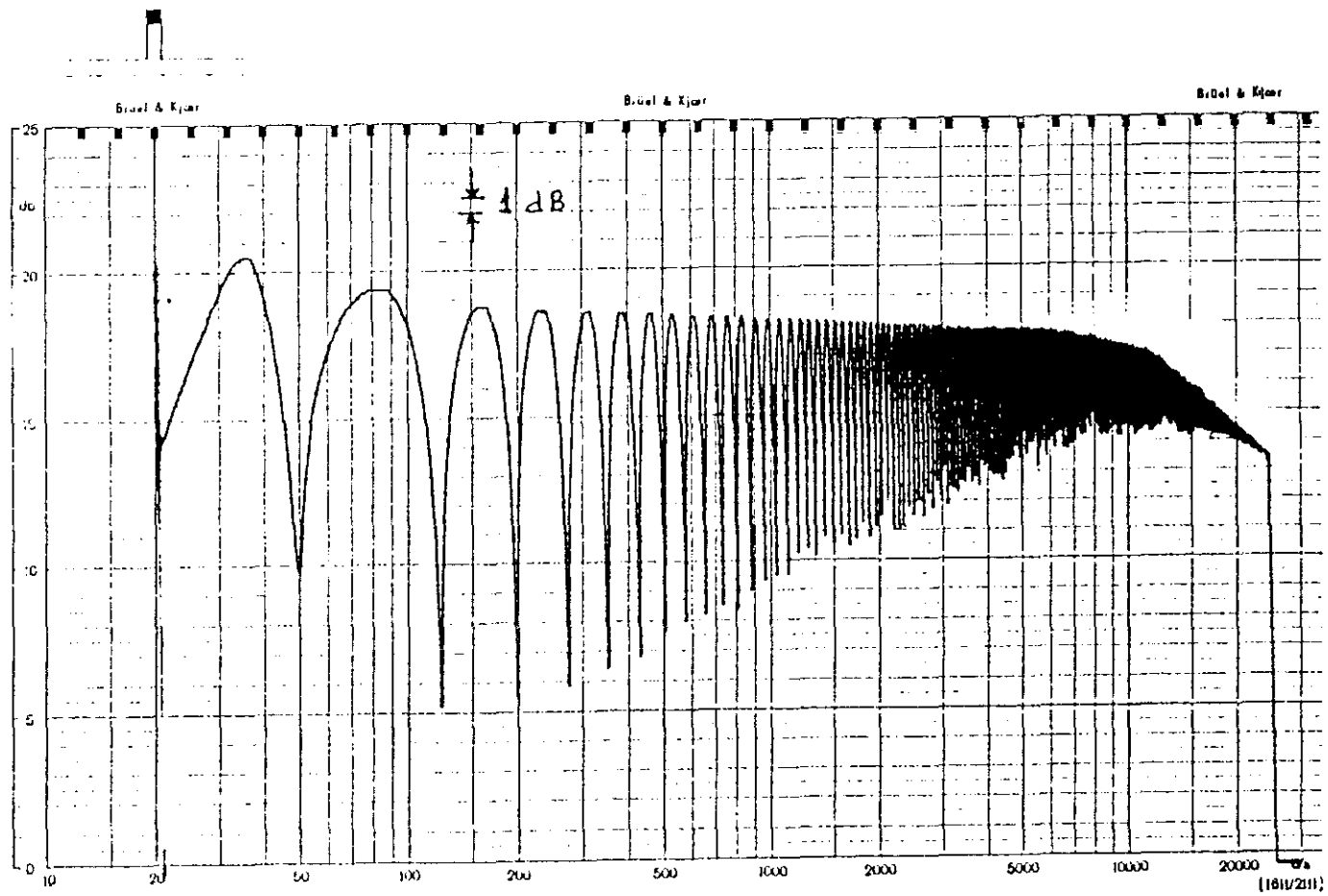


Fig. 2

Canal Izquierdo

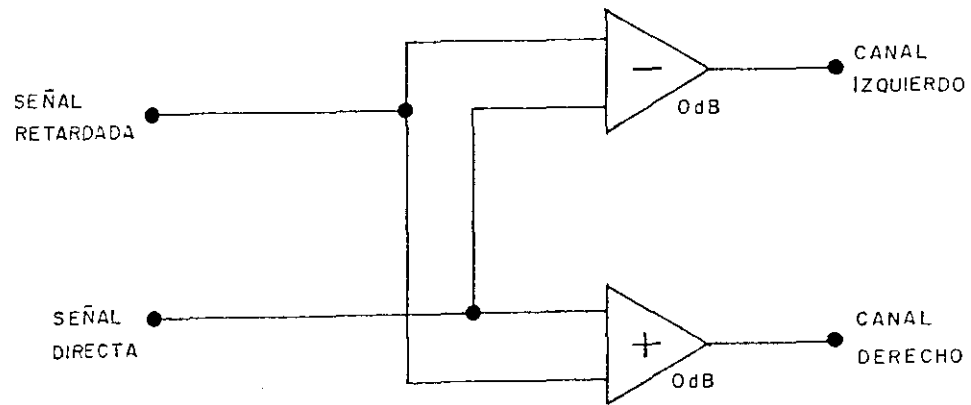
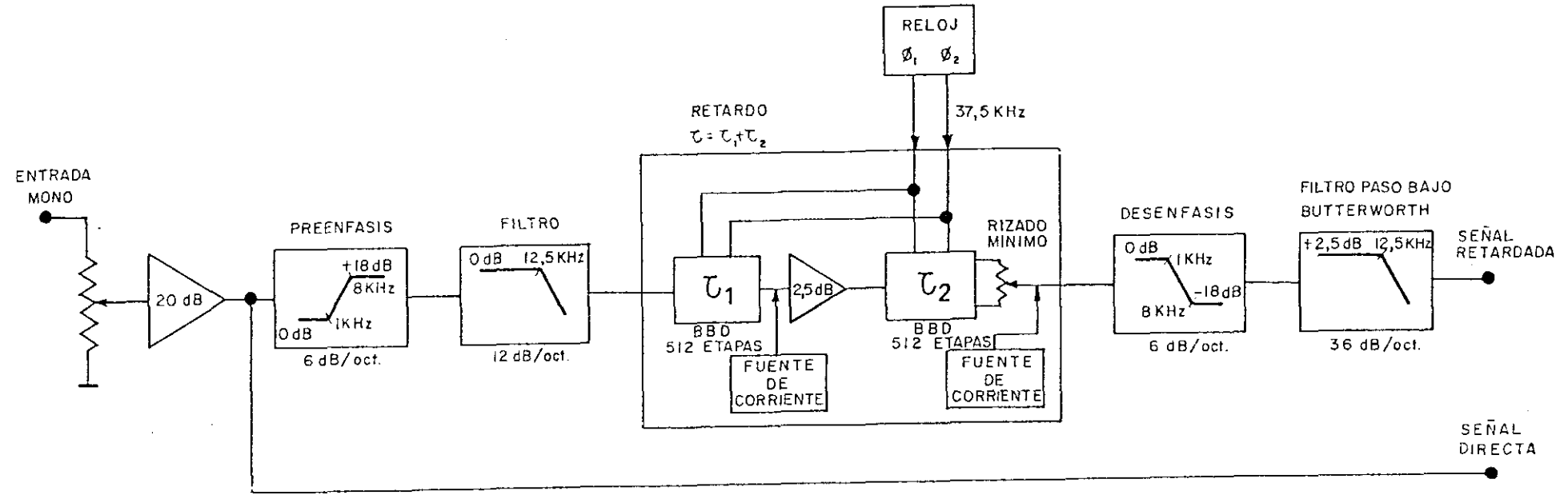


Fig. 3

Diagrama de bloques



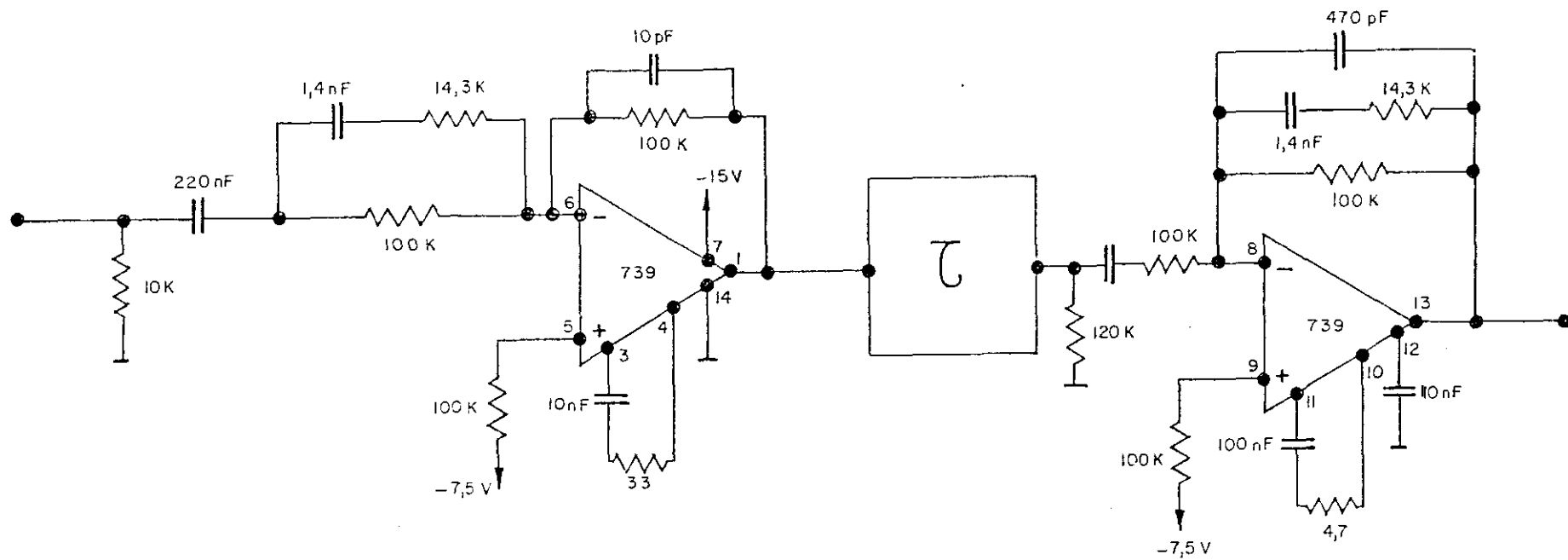


Fig. 4

Reductor  
de  
ruido

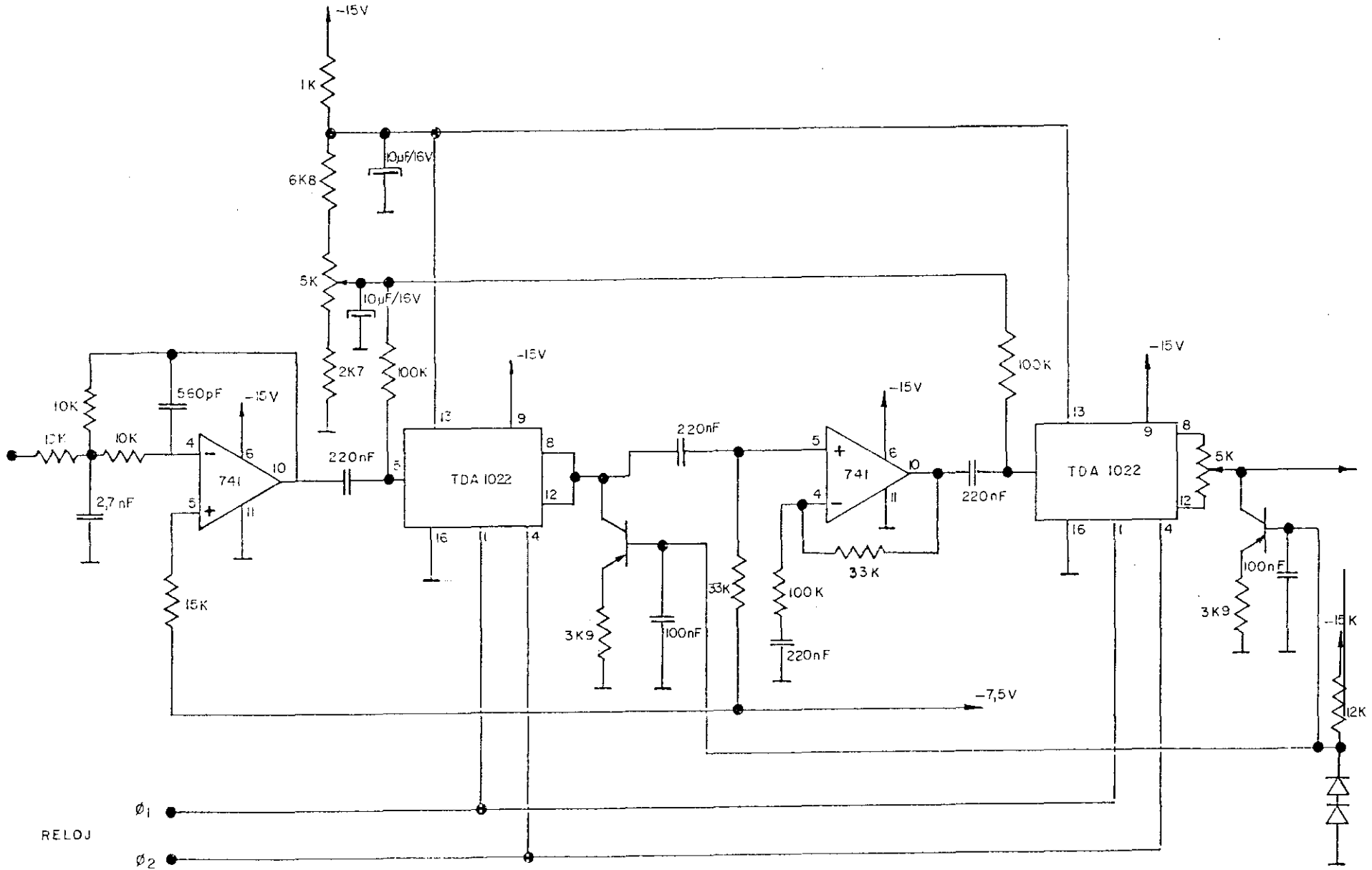


Fig. 5

Retardo



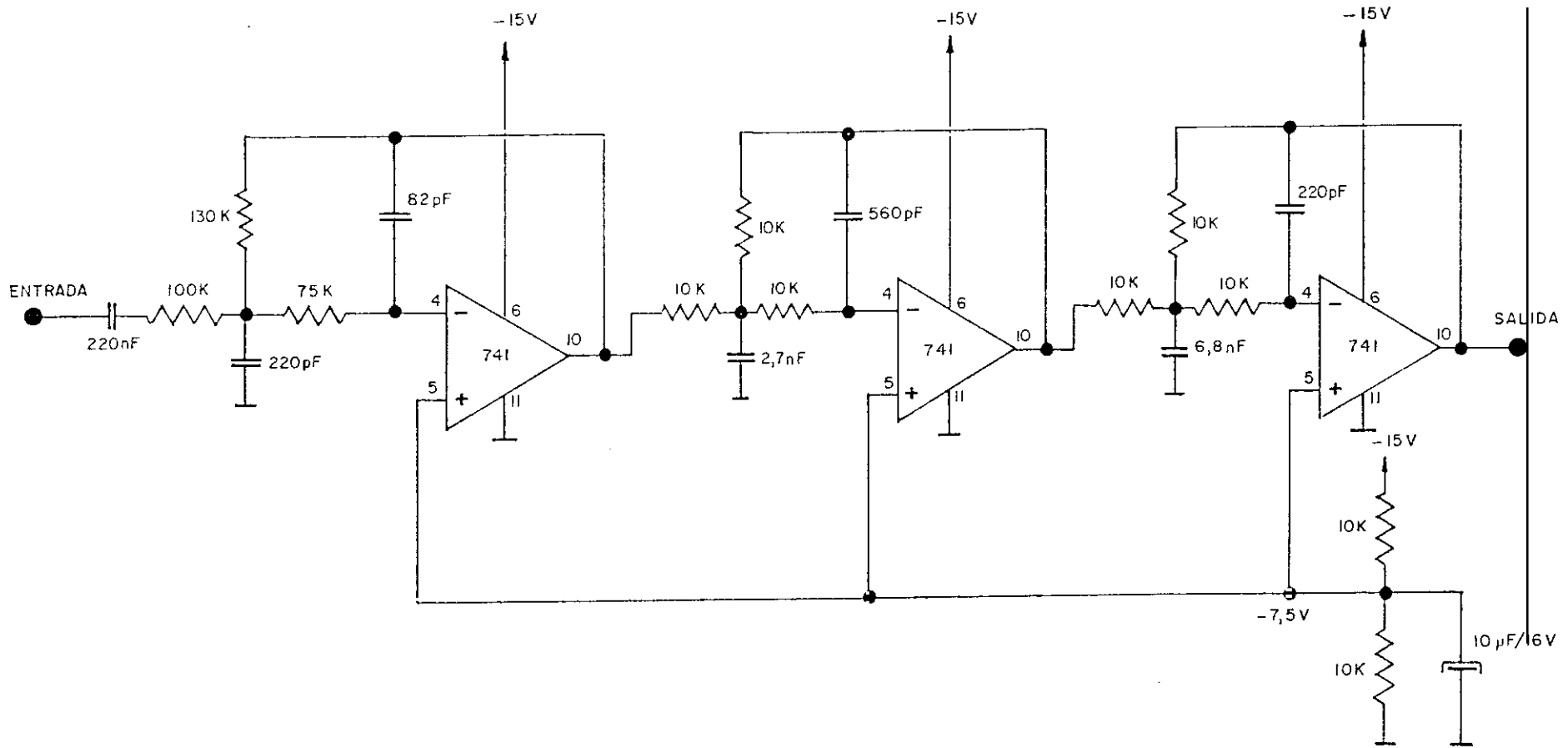
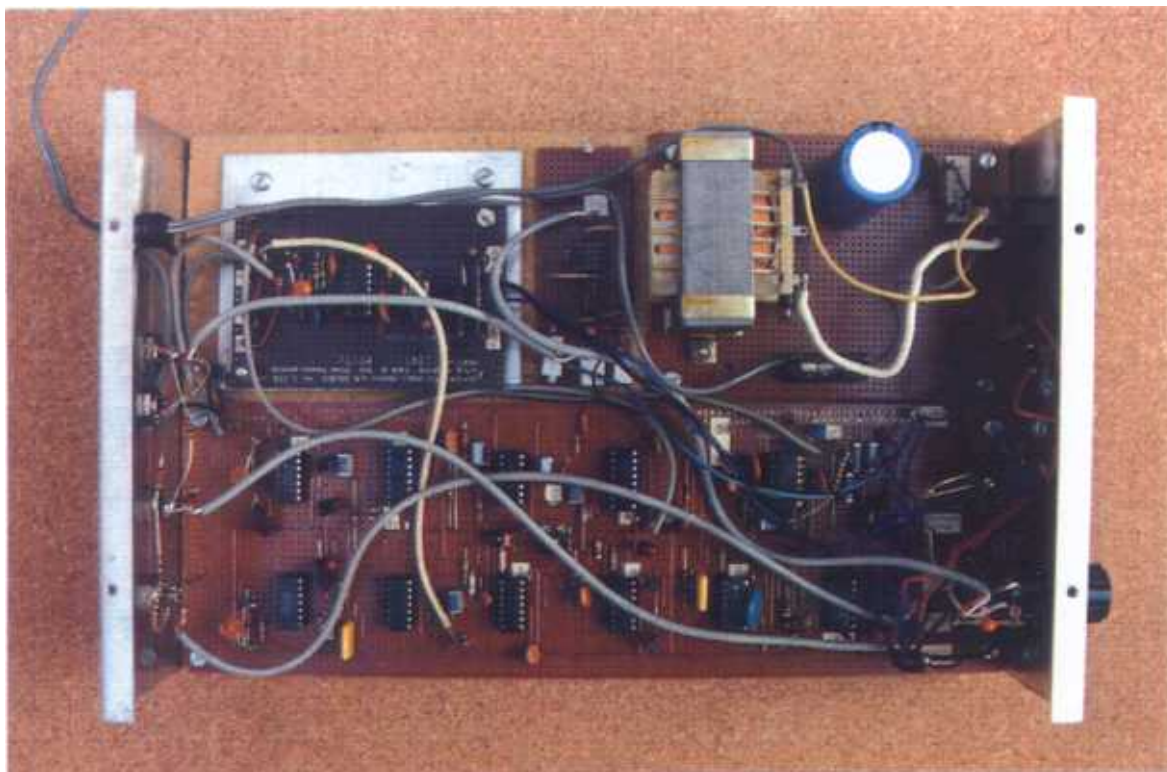
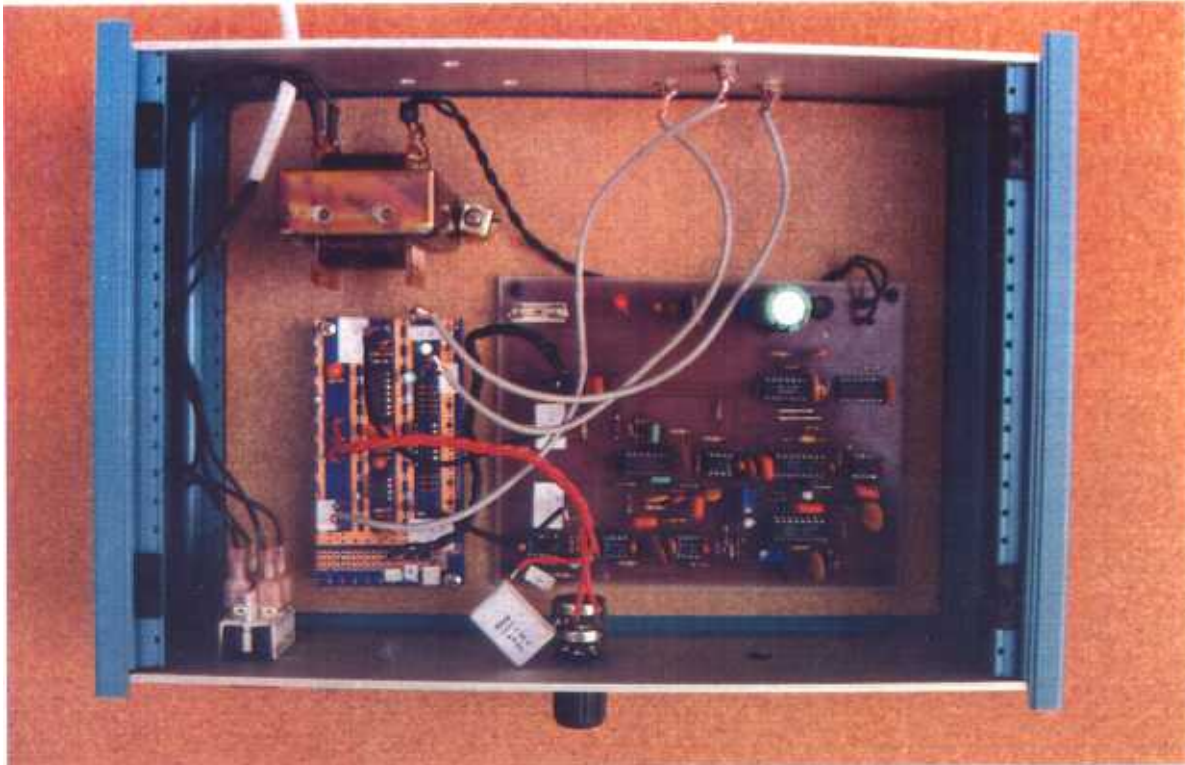


Fig. 7

Filtro paso bajo

Detalle fotográfico del prototipo doble instalado en dos módulos separados. Incluye cada uno su fuente de alimentación estabilizada.



## DETERMINACION DE VARIABLES

Una vez estudiadas las variables electro - acústicas que influyen en la percepción de la imagen auditiva, debemos intentar utilizarlas en la práctica mediante un sencillo esquema: Aplicar los fundamentos que definen la escucha atenta de un sonido grabado, en soporte audio y con procedimientos convencionales, a nuestro recinto; una vez identificadas las características del sonido y de la audición en un espacio sonoro virtual, el objetivo se centra en mejorar las condiciones de escucha y optimizarlas. El proceso incluye la utilización adecuada de la tecnología que presentamos para conjugar todos estos factores en una sala de audición.

Los estudios realizados durante los últimos 20 años sobre el proceso perceptivo de la escucha han dejado claro la importancia de las reflexiones laterales en una sala de audición . Es el caso de los trabajos de Barron, Marshall, Schroeder, Ando, Blauert y otros de los que nos hemos ocupado a lo largo de este estudio, que demuestran la marcada preferencia de los oyentes por auditorios y salas de escucha donde las paredes laterales sean capaces de reflejar una cantidad significativa de energía sonora.

Cada uno utiliza métodos diferentes para estudiar este efecto. Barron,

en el laboratorio rodeando al oyente con altavoces suspendidos en una cámara anecóica. Mediante controles de retardo para diferentes direcciones de emisión y analizando la respuesta subjetiva del individuo bajo prueba.

Blauert utiliza un método similar y deduce con Barron lo que denominan "Spatial Impressions" (SI) o la sensación de espaciosidad o "ambiente" en el entorno sonoro que rodea al oyente.

Shroeder llega a parecidas conclusiones estudiando la separación entre canales auditivos mediante la escucha en salas de concierto. Deduce a través de un alto porcentaje de oyentes, que las preferencias más claras se establecen cuando los recintos permiten una baja correlación interaural entre los dos oídos, disminuyendo dicha correlación tan solo en aquellos casos en los que aparece una mayor cantidad de energía sonora lateral.

Es decir las reflexiones laterales propician una menor correlación interaural, hay una mayor separación entre los dos oídos, y la sensación de ambiente aumenta proporcionalmente.

El diseño de nuestro procesador tiene como objetivo mejorar las condiciones de escucha de una sala de audición y por lo que se deduce de estudios anteriores, una de las premisas para esta mejora es incrementar la cantidad de energía lateral y trasera que podemos suministrar a través de nuestro espacio virtual reproducido.

A bajas frecuencias los modos propios laterales de una sala pueden

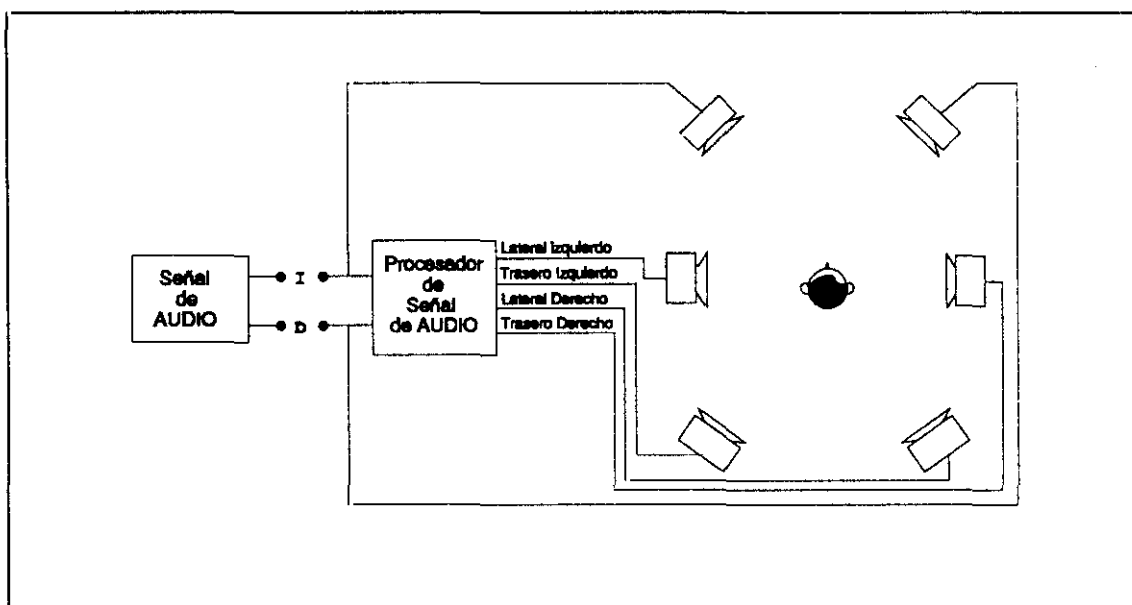
excitarse por señales estereofónicas reproducidas fuera de fase y estas pequeñas variaciones de tiempo pueden contribuir en gran medida a incrementar el grado de satisfacción de la escucha. A esto deben añadirse las reflexiones naturales de la sala para altas frecuencias como proceso primario en la creación de lo que hemos denominado impresión espacial.

Para darse cuenta de como contribuyen las paredes de una sala en el proceso de reflexiones y la consiguiente sensación de mayor o menor amplitud del espacio sonoro no hay más que proceder a una escucha atenta en una cámara anecóica o en un espacio abierto en un exterior. Las reflexiones desaparecen, es preciso aumentar el volumen del sistema para obtener la misma sensación que en una sala de escucha y las características que definen la espacialidad se modifican drásticamente.

Nuestro procesador (descrito con detalle en las páginas iniciales de este capítulo) está diseñado para suministrar cuatro salidas de audio a partir de los dos canales de entrada. Los dos canales originales estereofónicos de la fuente de señal se mantienen además como canales frontales principales antes de pasar por el procesador. Es decir contamos, para definir nuestro entorno sonoro virtual, con un total de seis canales de audio.

El perímetro que rodea al oyente queda constituido por dos canales frontales, dos canales laterales y dos canales traseros. El esquema simplificado del sistema se presenta dibujado en la página siguiente.





Cuando hablamos de la señal de audio nos estamos refiriendo preferiblemente a la que es capaz de suministrar cualquier reproductor de discos compactos (CD) o cinta magnética digital (DAT).

Los altavoces frontales izquierdo y derecho son amplificadas a partir de la señal grabada en dichas fuentes sonoras, directamente, sin pasar por nuestro procesador de audio.

Las señales que llegan a los altavoces del canal izquierdo, lateral y trasero, son procesadas y a continuación amplificadas. Lo mismo ocurre con las señales lateral y trasera del canal derecho. Inicialmente el oyente se sitúa en el centro geométrico del sistema de reproducción.

Siguiendo con las premisas iniciales y con objeto de esquematizar ordenadamente el conjunto de variables que intervienen en un ensayo de audición como el que pretendemos realizar, enumeraremos tres apartados donde quedarán incluidas cada una de las que vamos a considerar:

- Variables físicas.
- Variables fisiológicas.
- Variables psicológicas.

Muchas de estas variables se han ido definiendo a partir de multitud de experiencias desde hace ya más de cincuenta años (de BOER, 1940; op. cit.), hasta las más recientes (TOOLE, 1985; FURMANN, 1990).

Todas ellas han intentado normalizar los procedimientos para realizar con justeza este tipo de ensayos auditivos. No debemos olvidar que son procedimientos en los que se deben conjugar factores mensurables, datos objetivos, con valoraciones puramente subjetivas.

## VARIABLES FISICAS

Sala de audición. Permite el acoplamiento definitivo entre el sistema de reproducción y el sistema auditivo del oyente.

Situación relativa del sistema del altavoces. Puede afectar al sonido emitido por la fuente, induciendo fenómenos que modificarían la sonoridad relativa. Se corresponde con otro factor de ubicación:

Situación del oyente. Puede influir en la cantidad y calidad de sonido que llega al oído; ambos se complementan.

Material programado para la prueba. Debe provenir de distintas fuentes para evitar preferencias y predisposiciones del oyente.

Imperfecciones técnicas. Como es obvio no deberían aparecer prácticamente. Sobre todo en el sistema de reproducción completo formado por la fuente de señal, el procesador, el sistema de amplificación y el conjunto de altavoces.

## VARIABLES FISIOLÓGICAS

Sensibilidad auditiva normal. Debe conocerse la capacidad fisiológica del sistema auditivo de los individuos que participan en la prueba a través de una audiometría.

Sonoridad relativa. Puede afectar a aspectos del timbre. Nos referimos a variaciones del nivel de presión entre sonidos próximos. Incluso pequeñas variaciones entre uno y tres decibelios pueden inducir a preferencias no deseables.

Sonoridad absoluta. Se refiere al conjunto del material sonoro programado. Debe adaptarse a las preferencias del oyente teniendo en cuenta los márgenes que permita el test programado. Una vez decidido el nivel óptimo, debe mantenerse constante en las distintas repeticiones que se efectúen.

## VARIABLES PSICOLOGICAS

Experiencia previa del oyente. Incluso una cierta familiaridad con este tipo de pruebas resultan de gran utilidad a la hora de emitir juicios precisos. No es suficiente con tener ciertos conocimientos musicales o exhibir una asistencia regular a conciertos. Es más importante una actitud comparativa y crítica en la escucha.

Interacciones de grupo. Se deben evitar o al menos tener constancia de ellas realizando pruebas a individuos solos.

Normalizar la terminología del cuestionario y las instrucciones.

Por último debemos citar algunos factores que pueden inducir a errores de valoración; mínimos si se quiere, pero que debemos tener en cuenta al plantearlo con rigor científico:

Objetivos de la prueba

Objetos bajo prueba

Orden de presentación

Estos factores deben ser secretos con objeto de evitar expectación o predisposición en el conjunto de oyentes.

Los trabajos de Toole (1982, 1985, op. cit.) van un poco más allá y especifican que los tests pueden ser de dos tipos:

Medio-secretos (single-blind). La persona que pasa el test conoce los tres factores.

Secreto total (double-blind). Incluso la persona que lleva a cabo la prueba desconoce los detalles.

En muchas de las pruebas de percepción sonora, sobre todo en las que intervienen valoraciones comparativas entre marcas (como las que realizan las organizaciones de consumidores), es deseable y conveniente plantear las pruebas con el rigor propuesto por Toole. Nuestro estudio experimental, sin embargo, no llevará a cabo comparaciones más que consigo mismo y su objetivo más inmediato es encontrar la organización óptima de cuantas variables estamos definiendo. Es decir, como ya quedó definido en otro capítulo, buscamos la AUDIONOMIA del conjunto.

## SALA DE AUDICION

La norma básica editada por la International Electrotechnical Commission (IEC) para realizar pruebas subjetivas basadas en sonidos, hace una serie de recomendaciones sobre las características que deben reunir los ensayos de audición a diferentes niveles. Desde cualidades de los sujetos seleccionados y los márgenes auditivos que deben cumplir, hasta las características técnicas de los equipos de reproducción utilizados, incluyendo el tipo de señales y sus niveles de uso más apropiados.

Entre estos apartados tan específicos y con caracterizaciones tan precisas, nos encontramos con las relacionadas directamente con la sala de audición. Es un ejemplo de recinto definido por un comité internacional de expertos en la materia, lo que ofrece la garantía de ensayos rigurosos y por consiguiente un alto grado de fiabilidad.

El tipo de recinto debe ser similar al de una sala de audición con un promedio de características acústicas que se acerquen al espacio sonoro de escucha habitual. Aunque no especifica dimensiones geométricas ni de volumen, propone que una longitud de la sala sea mayor que la otra, con lo que inicialmente debemos elegir una sección rectangular y no una de

sección cuadrada. Respecto a los recintos cuyo volumen tiende a parecerse a la forma hexaédrica o cúbica, ya hemos analizado en el Capítulo IV las razones por las que debemos evitarlos.

La norma nos especifica el área aproximada del recinto que debería situarse entre los 30 y los 50 m<sup>2</sup> con lo que, si consideramos una altura típica de techo entre los 2,5 y los 3 metros, nos encontramos con un volumen aproximado que oscilará entre 75 y 100 m<sup>3</sup>.

La pared más corta no debe ser inferior a 3,5 metros, basado en la consideración de que la disposición de los altavoces, en una adecuada reproducción estereofónica, deben mantener una separación de 2,5 metros como mínimo, a lo que habría que añadir el ángulo de orientación relativo respecto al eje de escucha.

La respuesta en frecuencia de la sala debe mantener una cierta linealidad a lo largo del rango audible. Es esta una característica casi imprescindible, si consideramos que estamos hablando de un recinto para realizar ensayos de audición (por ejemplo un análisis comparativo de altavoces), que requiere la ausencia de variaciones apreciables en cualquier banda de frecuencias en el margen audible. Dicha alteración modificaría la respuesta de los mismos objetos de ensayo introduciendo lo que, en un capítulo anterior, hemos llamado "coloración".

Especifica la norma una detallada medida en segundos de los tiempos



de reverberación en varios márgenes de frecuencia. Recomienda que entre 250 Hz y 4.000 Hz este tiempo oscile entre 0,3 y 0,6 segundos; por debajo de 250 Hz no debe superar los 0,8 s ; y por encima de 4.000 Hz permite un margen, respecto de los medios, del 25 %. Además no deben llegar a apreciarse, en una escucha normal, resonancias propias del recinto que provoquen ecos batientes significativos.

También se recomiendan en la norma las condiciones elementales que deben reunir la salas de audición en cuanto a la iluminación. Debe mantener un grado medio de intensidad luminosa y sobre todo que nunca quede enfocada sobre ninguno de los sujetos bajo prueba, evitando dirigirla directamente a sus ojos para evitar distracciones.

Se especifican alguna de las condiciones climáticas mínimas: La temperatura ambiente puede oscilar entre 18 y 35 °C, recomendando que se realice en torno a los 20 °C. El grado de humedad relativa del aire debe mantenerse entre el 45 % y el 75 % que es una característica de ambientes considerados normales.

El nivel de ruido de fondo debe ser inferior a 35 dB advirtiéndose que debe hacerse la medida con un somómetro calibrado en la escala "A" <sup>41</sup> y que, si se superan estos niveles y no pudieran evitarse, es necesario especificarlo en los resultados.

El nivel sonoro promedio al que se va a realizar la prueba de

audición debe ajustarse hasta conseguir que, siendo lo más elevado posible, sea igualmente aceptado por cada uno de los sujetos que participa en el ensayo. Aunque puede deducirse más concretamente de otro apartado relacionado con este, que para el caso de un equipo de reproducción considerado de alta-fidelidad, dichos niveles de presión sonora deben oscilar entre 80 y 90 dB(A). Aparentemente pueden parecer niveles pequeños, sobre todo si consideramos los valores de hasta 110 dB que puede conseguir una orquesta en una sala de conciertos. Sin embargo debemos tener en cuenta que, por un lado la medida está expresada en dB utilizando el filtro A y esto disminuye el nivel global; por otro que vamos a realizar la audición en un recinto de dimensiones reducidas, por tanto un promedio de 85 dB (A) es un nivel adecuado y suficiente.

## SITUACION RELATIVA DE LOS ALTAVOCES

Las implicaciones de esta variable en la consecución de una escucha correcta no son, ni mucho menos, desdeñables. Alguna se deduce de la norma citada y experiencias propias las confirman.

Cerca del suelo y en las esquinas añade un incremento de graves del orden de tres decibelios y por tanto aparece una descompensación entre frecuencias bajas respecto a las medias y altas. Dicho fenómeno introduce lo que hemos llamado "coloración" de los instrumentos graves respecto a los medios y agudos. Si bien es cierto que mejora aparentemente la sensación de espacio abierto o "ensanchamiento" de los dos canales frontales, lo hace a cambio de perder parte de la identificación de izquierda - derecha en frecuencias bajas. El resultado es que la señal resultante se percibe marcadamente monofónica.

Es imprescindible realizar el test de polaridad de cada par de altavoces bajo prueba para evitar cancelaciones de frecuencia no deseadas debidas al posible conexionado "fuera de fase" entre parejas. Esto es más importante en nuestro caso, al usar tres dobles canales de señal. Es además fundamental mantener dicha polaridad entre altavoces y amplificadores.

## LOCALIZACION PRIMARIA

Partimos de considerar que la ubicación inicial dispuesta para las fuentes sonoras nos permite mantener la relación espacial recomendada por la norma IEC 268. Se debe tener en cuenta la respuesta en función de la frecuencia y la situación relativa de los demás altavoces en la sala de audición. Los experimentos realizados sobre la separación espacial de altavoces (GRESINGER, 1986) junto con un cálculo aproximado de los modos propios de resonancia de la sala de audición nos indica que a bajas frecuencias, inferiores a 200 Hz, será muy difícil identificar la localización de fuentes sonoras. Por tanto para las valoraciones subjetivas, la localización vendrá determinada por frecuencias superiores a 200 Hz.

Para frecuencias superiores a 2.000 Hz la localización, debido a un diagrama direccional mucho más estrecho, teóricamente no debe presentar dificultades. Sin embargo a frecuencias superiores a 5.000 Hz aparece muy marcada la sensación característica de "hueco central".

El objetivo de esta prueba es el de comparar estos resultados de localización iniciales con los que intentamos conseguir posteriormente y que buscarán la sensación opuesta que es la de descentralización o deslocalización de fuentes sonoras.

## SELECCION DE FUENTES

Es importante la selección de los fragmentos sonoros que después utilizaremos en la prueba de audición. Necesariamente deben conocerse en profundidad para poder compararlos posteriormente. Los audiófilos marcan determinados hitos (testigos) en los pasajes que consideran más importantes y son estas marcas precisas (de mayor o menor precisión según el criterio estético del individuo) las que luego les sirven de referencia para poder establecer comparaciones efectivas.

La Norma IEC 268 cita este apartado, pero remite a otra Norma o Recomendación, de rango inferior, concretamente a la IEC 543. Aquí se indican de un modo general las características que deben integrar las señales: música clásica, música popular y palabra. La duración de cada fragmento debe ser superior a 20 segundos y la prueba total debe tener una duración máxima de 20 minutos.

Nuestra selección consta de diez fragmentos de duración variable, pero que en ningún caso superan los 90 segundos, con un intermedio de silencio de quince segundos entre cada uno. Es una duración aceptable que permite captar matices y cuyo conjunto no excede de los 15 minutos.

## Relación de fragmentos:

1. **ORGANO** (romántico). Hindemith : Tocata francesa. CD de Argo  
Nivel de Presión Sonora = 85 - 92 dB(A)
2. **VOZ** (femenina). Jennifer Warnes. "Bird on a wire". CD de Cypress  
NPS = 80 - 85 dB(A)
3. **PIANO** (Steinway). Haendel . Chacona. CD de Sheffield  
NPS = 78 - 86 dB(A)
4. **SONIDO AMBIENTE** (exterior). Rastro. Paseo sonoro. Autor. DAT.  
NPS = 82 - 87 dB(A)
5. **JAZZ** (cuarteto). Phil Woods & Trio. CD de Chesky Records.  
NPS = 84 - 89 dB(A)
6. **ORQUESTA** (Zubin Mehta). Saint-Saëns: Rondó Caprichoso. CD D.G.  
NPS = 77 - 92 dB(A)
7. **BINAURAL** (música antigua). Grupo Alba. Autor. Newman y Nagra.  
NPS = 80 - 85 dB(A)
8. **RUIDOS** (interior) Cámaras: Anecóica y Reverberante. Autor. DAT.  
NPS = 40 - 90 dB(A)
9. **POP** Blood, Sweat & Tears. "Smiling Phases". CD de CBS.  
NPS = 80 - 92 dB(A)
10. **PERCUSION** J.C. Kerinec. "Rithmotom I". CD de Pierre Verany.  
NPS = 75 - 94 dB(A)

### Parámetros técnicos

Los niveles y características básicos que deben mantener la señales de entrada y salida para este tipo de ensayos están recogidos en la norma específica IEC 315, apartado 1, a lo que nos hemos ceñido, incluso rebasándolos, con objeto de que ningún elemento de la cadena de reproducción pudiera interferir en el desarrollo de la prueba.

Los niveles de la señal de los discos compactos, en torno a los 2 Voltios (rms), se mantienen al pasarlos al magnetófono digital (DAT), así como el valor de la impedancia de salida superior a 1,5 kohms.

No es necesario el ajuste de los controles de tono puesto que vamos a trabajar con preamplificadores y amplificadores de potencia lineales que no modifican los parámetros de frecuencia en el rango audible.

La respuesta de los altavoces utilizados está dentro de los márgenes especificados por la Norma DIN 45.500, superando en bajas y altas frecuencias los niveles máximos.

Procedemos a la evaluación de la "impresión sonora total" o grado de calidad del sistema escuchando previamente los fragmentos musicales seleccionados a través de un sistema de referencia constituido por un preamplificador auto-alimentado y auriculares electrostáticos STAX.

## AUDIOMETRIA

Esta medida determina la capacidad del órgano de la audición de las personas y su variación a distintas frecuencias del espectro audible. Es una prueba objetiva recomendada por distintas normas de rango internacional que se ocupan de dichos procesos. Incluso el protocolo de medida y los audiómetros con los que se realizan están sometidos a normativa.

Sin embargo, aún siendo necesaria, no es suficiente. El motivo es que alguna de las particularidades de nuestro oído escapan a las medidas consideradas habituales en la acústica fisiológica como es la audiometría clásica. Este tipo de medida, de modo similar a la realizada para niveles sonoros en la acústica física, busca articular un número que define una dimensión con el que podamos obtener un valor comparativo. Esto es precisamente lo que hacemos cuando medimos ruido con un sonómetro obteniendo una lectura en decibelios. Este dato es la expresión de un cierto nivel de presión sonora, siempre caracterizado por una serie de condiciones como son: distancia entre el objeto o fuente sonora y el micrófono del instrumento medidor; la existencia de otras fuentes cercanas; la escala de ponderación utilizada por el sonómetro, etc.



Pero dicha medida nos habla tan sólo de la cantidad y no nos suele indicar gran cosa sobre la cualidad del suceso que estamos tratando de valorar. Sin embargo hay dos factores importantes que nos van a ayudar a comprender las divergencias que pueden encontrarse en las características del sistema auditivo de dos personas distintas con fisiologías y hábitos de escucha diferentes. Estos son: la frecuencia de corte y el poder separador temporal. Pudiendo también definirse como la frecuencia a la que el oído deja de reponder en forma lineal y la capacidad para detectar la separación entre dos sonidos muy próximos en el tiempo.

La aproximación a dichas características que pueden descubrir fisiológicamente tipos de agudeza auditiva muy distintos, nos permitirá comprender también la susceptibilidad en la variación de los atributos percibidos en el proceso de escucha.

### Frecuencia de corte

La mayoría de los audiómetros usuales tienen su límite de emisión a frecuencias de 6.000 Hz, 8.000 Hz y algunos, muy pocos, llegan hasta los 10.000 Hz. Muchos individuos jóvenes, sanos y acostumbrados a escuchar con atención pueden llegar a oír con facilidad frecuencias mucho más elevadas, incluso señales sonoras del orden de los 20.000 Hz. Esto

supone alcanzar ya el rango de los ultrasonidos.

Esta particularidad se hace más notable en el caso de escuchar señales sonoras de muy baja intensidad. Esto es debido a la carencia básica de nuestro sistema auditivo para percibir, a altas y bajas frecuencias, una sensación de sonoridad inferior que a frecuencias medias <sup>42</sup>.

Estas altas frecuencias son muy importantes en el campo de la percepción, puesto que sobre todo dependen de ellas factores que definen determinadas cualidades como son la intensidad, la altura y el timbre. La riqueza de una composición musical aumentará por tanto proporcionalmente cuando se incremente el rango de frecuencias audibles.

Efectivamente una audiometría clásica, como las utilizadas en la detección de trastornos en el sistema auditivo, no analiza más allá de las frecuencias normalizadas (entre 63 Hz y 8000 Hz) y nada nos indica, de manera explícita, sobre lo que está sucediendo con las frecuencias superiores e inferiores. Sin embargo ante el hecho de aparecer caídas significativas en alguna de estas frecuencias normalizadas, nos estaría indicando, de manera implícita, la posibilidad de determinadas alteraciones del sistema auditivo analizado y, por tanto, nos induciría a llevar a cabo una ampliación de la prueba audiométrica.

A pesar de todo para un ensayo de percepción auditiva en los niveles de emisión que nosotros queremos trabajar, será muy conveniente realizar

pruebas a 40 Hz en frecuencias bajas y llegar hasta los 16.000 Hz en las frecuencias altas.

### Poder separador temporal

Investigaciones sistemáticas realizadas en una población con un gran número de sujetos (LEIPP, 84, p.157; Archivos del Instituto de Acústica de Madrid) que abarca a individuos jóvenes y adultos; distintos tipos de oyentes convencionales, discapacitados, pero también audiófilos y músicos, muestran que si se hace escuchar señales impulsivas (clics) que se puedan regular en el tiempo, ciertos sujetos son capaces de discriminar claramente clics separados entre 2 y 5 milisegundos. Mientras tanto otros (sin ser patológicos) en las mismas condiciones, pueden llegar a 25, 50 o incluso 100 milisegundos para detectar sonidos separados.

Evidentemente la consecuencia que a nosotros nos interesa resaltar es que unos reciben más cantidad de información por segundo que los otros. Se comprende que haya divergencias cuando se trata de apreciar ciertos sonidos instrumentales que tienen transitorios de ataque muy breves y que evolucionan muy rápidamente. Es el caso de la mayoría de los instrumentos de percusión y también el clavecín o el piano.

## ENSAYO DE AUDICION

Lo básico de este tipo de pruebas es combinar los controles de las variables físicas, fisiológicas y psíquicas expresadas anteriormente, con una estructura normalizada y repetitiva (ritualizada).

Debemos tener en cuenta que la prueba es netamente subjetiva aunque intentemos correlacionarla con factores objetivos. Pese a todo el indicador es un oyente humano, por tanto no podremos expresarnos más que en forma de atributos personales tales como: preferencias, aptitudes diferentes, conocimiento, valoración; aunque el resultado de muchas de las pruebas auditivas controladas indica que el conocimiento de muchas de estas diferencias personales ponen en evidencia otro tipo de influencias.

Las valoraciones que se expresan más adelante fueron decididas en forma subjetiva por el autor, así como por un grupo de oyentes experimentados, acostumbrados a escuchar música reproducida en equipos hi-fi de gama alta, de los denominados "alta fidelidad de excepción" Estos oyentes, de los habitualmente denominados "audiófilos", fueron seleccionados también según criterios personales de imparcialidad y juicio equilibrado. También se sometieron a dos sencillas pruebas objetivas que

consistieron en una audiometría, en el rango extendido definido anteriormente, para conocer el estado de su agudeza auditiva en función de la frecuencia y una prueba de reacción a estímulos sonoros para conocer su respuesta a señales impulsivas.

No se eligen oyentes sin experiencia porque sus opiniones no se consideran válidas para realizar una prueba de percepción auditiva.

Esto queda demostrado en investigaciones recientes (GABRIELSSON, 85) y previamente por el autor (SIGUERO, 1983, p.130).

En dichos estudios se demuestra que los porcentajes de error en la identificación de fuentes sonoras son netamente superiores en individuos que no realizan habitualmente un tipo de escucha crítica.

Terminología que hemos empleado:

**Definición** - Claridad - Pureza. -- Permite oír y distinguir claramente los distintos instrumentos y voces incluso en orquestaciones complejas. Cada uno de los instrumentos y voces suenan claros y puros sin distorsión. Con atención es posible percibir ataques, transitorios y otros detalles de la composición.

Antónimos : Confuso, impreciso, impuro y otros adjetivos como difuso, turbio, empañado, brumoso, ruidoso, distorsionado, áspero, basto.

**Plenitud de tono** - El espectro completo del sonido está incluido sin limitaciones, incluyendo el rango completo de graves <sup>43</sup> . Hay un equilibrio tonal entre las bajas frecuencias y el espectro de las medias y altas frecuencias. Opuesto : los graves están limitados.

**Sensación de Espacio** - Espaciosidad. - La reproducción ofrece una gran amplitud, el sonido se abre, tiene anchura y profundidad. Llena la sala, da una sensación de presencia. Opuesto: La reproducción del sonido es cerrada, limitada, apagada, estrecha. No ofrece sensación de presencia.

**Brillo** - Se refiere a una adecuada proporción de tonos en el espectro musical. Las altas frecuencias deben estar equilibradas respecto a las medias y bajas frecuencias. Un sonido no debe resultar ni demasiado brillante, ni demasiado opaco, empañado o apagado.

**Fidelidad** - Nitidez. - Es una clasificación que engloba a todos los demás adjetivos y describe el grado de aproximación del sonido que escuchamos con la imagen auditiva que nosotros conservamos del sonido original, cuyo grado de fidelidad suponemos que es el máximo.

Puede ser difícil juzgar la fidelidad <sup>44</sup> de un fragmento musical si no se ha escuchado en la sala original pero se debe intentar imaginar cómo

sonaría realmente. Por regla general los oyentes experimentados, como los audiófilos de nuestro ensayo, están acostumbrados a realizar este ejercicio de voluntad y de imaginación en sus escuchas habituales.

Escala de valoración.

Utilizaremos las habituales en este tipo de ensayos. Recomendadas por la Norma IEC 268 y en los ensayos de Toole (op. cit.); ya las hemos manejado en trabajos anteriores y las consideramos perfectamente válidas.

El índice de valoración oscila entre cero y diez.

El número cero denota una reproducción que no guarda similitud alguna con el original. No se puede imaginar una reproducción peor.

El número diez denota una reproducción que se identifica con la ideal. Es perfectamente fiel al original. No es posible mejorarlo.

Entre ambos valores intercalamos los adjetivos:

Mala(1), Pobre(3), Aceptable(5), Buena(7), Excelente(9).



## Objetivo de la prueba

El objetivo de nuestro ensayo busca encontrar la relación óptima entre la sensación de amplitud o espaciosidad, la disposición de los altavoces y la ecualización del sistema de reproducción (amplitudes y retardos).

Ya hemos dicho anteriormente que la utilización de seis canales en la reproducción lo que busca es articular un espacio sonoro virtual que imite las condiciones de escucha que se dan en un espacio sonoro real. Para ello es fundamental ofrecer al oyente una impresión de espacio físico, de geometrías y volúmenes, de amplitudes, como el que ofrece una sala de conciertos o un recinto para grabación musical.

La disposición de altavoces equivale, en muchos aspectos, a la variación de la acústica de la sala de audición que, junto con las posibilidades del sistema de amplificación y las del procesador, nos va a permitir multiplicar las opciones.

Una de las primeras decisiones importantes que deben tomarse es el emplazamiento de los altavoces laterales y los traseros. Ando (op. cit.) sugiere que la posición más adecuada son los  $\pm 55$  grados del eje frontal de escucha. Griesinger (op. cit.) sin embargo propone que formen un ángulo de  $\pm 85$  grados respecto a este mismo eje de audición. Se deduce



de dichos estudios que la altura del conjunto de altavoces debe ser la que se corresponda con la altura del pabellón auditivo de los oyentes, siguiendo la misma localización que se define para los altavoces frontales principales, ya descritos en la Norma IEC 268, para test de audición.

Inicialmente nuestros seis altavoces quedan todos situados en el plano imaginario, paralelo a suelo y techo, que pasa por los pabellones auditivos de nuestro oyente. Los altavoces frontales, separados tres metros, los giramos un ángulo aproximado de 30 grados para que queden enfrentados a la posición de escucha. Los altavoces traseros se situarán, inicialmente, en forma simétrica a los delanteros. Los altavoces laterales quedarán enfrentados a los oídos del oyente. En dicha posición quedan más cerca de la posición de escucha que el resto de los altavoces, lo que debemos tener en cuenta en el momento de amplificarlos con objeto de mantener la sonoridad relativa del conjunto.

El número de oyentes especializados con que hemos contado para la prueba de audición ha sido de diecisiete, incluido el autor. Las sesiones de escucha se llevaron a efecto a lo largo de los meses de Julio, Agosto y Septiembre del pasado año. La sala, acondicionada especialmente para estas pruebas, está situada en la planta sótano del Centro de Investigaciones Físicas "L. Torres Quevedo" de Madrid, donde se verifica cumplidamente la normativa específica para este tipo de salas de audición (IEC 268).

El procedimiento seguido ha quedado pergeniado en los apartados anteriores y la secuencia de la batería de pruebas fue como sigue:

- a. Una primera escucha atenta de los fragmentos seleccionados a través de un sistema de reproducción con auriculares de referencia.
- b. Escucha de la selección por estereofonía, amplificando únicamente los altavoces frontales. Sin altavoces laterales ni traseros.
- c. Primera escucha incluyendo el procesador. Altavoces frontales y traseros en la localización inicial. Sin altavoces laterales.
- d. Escucha del sistema completo en la localización inicial.
- e. Desplazamiento de los altavoces laterales hasta los 75 grados del eje frontal (antes 90 grados) y traseros desplazados del plano de escucha.
- f. Desplazamiento exagerado de altavoces laterales (135 grados).
- g. Localización definitiva: Altavoces laterales situados en torno a los 80 grados del plano frontal y ligeramente elevados (10 - 15 grados) respecto al plano de escucha. Altavoces traseros desplazados de su simetría respecto a los frontales y ligeramente desplazados (un ángulo negativo de 15 grados) respecto al plano de escucha. Altavoces frontales sin variación.

Detalle fotográfico de la sala de audición. Con una perspectiva de gran angular puede apreciarse la disposición de altavoces y el sistema de reproducción utilizado.



## CONCLUSIONES PARCIALES

Debemos tener en cuenta que ninguna técnica, por muy actualizada que esté, es capaz de trabajar óptimamente en cualquier situación o condiciones. Nuestro prototipo tampoco es una excepción, sin embargo significa una contribución importante en la mejora del proceso de escucha a través de un sistema de reproducción, configurando lo que hemos denominado espacio sonoro virtual.

La impresión espacial se incrementa al acercar los altavoces laterales hasta un ángulo cercano a los 80 grados respecto al eje de escucha, sin que lleguen a estar situados frente al pabellón auditivo del oyente (que serían los 90 grados). Respecto a su altura, conviene también mantenerlos ligeramente elevados (15 grados aproximadamente) respecto al plano ortogonal de este mismo eje. Los altavoces traseros deben seguir similar disposición a la de los frontales obteniendo mejores resultados al desviar su eje de radiación de la posición del oído del oyente. Al mantenerlos paralelos entre sí, no siguiendo la inclinación de los frontales, los alejamos también de su posible área de influencia.

Hemos podido constatar que no se consigue una impresión espacial

aceptable mediante la utilización de altavoces delanteros y traseros únicamente. Lo que confirma la importancia de los altavoces laterales en la sensación de sonido envolvente, ya expresada por otras experiencias.

Para el caso de nuestro procesador, no hemos podido confirmar la importancia de las frecuencias graves, indicadas por otros investigadores, para realzar la impresión de dirección ni la sensación de espacio.

Las frecuencias graves son importantes pero no mucho más que el resto de frecuencias medias y altas.

Respecto a la posición del oyente, hemos llegado a la conclusión de que no tiene excesiva influencia. Las variaciones en la situación absoluta en la sala y la relativa de los movimientos de la cabeza sin duda introducen ciertos errores, pero comparado con las variaciones de los retardos del sistema no parecen ser significativas.

Sí es conveniente no mantener una excesiva proximidad a ninguno de los altavoces. Debe buscarse una situación de equilibrio, equidistante de cada uno de ellos.

Respecto al proceso de localización en el plano horizontal podemos decir que mediante la utilización de más canales de reproducción se mejora la estabilidad de las imágenes auditivas, eliminándose las confusiones en la lateralización de una fuente sonora.

Imágenes en profundidad: se pierden planos de profundidad cuando

la escucha se realiza fuera del ángulo característico de 60 grados considerados óptimos para la percepción completa de la imagen estereofónica. Los altavoces laterales y traseros no parecen influir.

La ilusión de movimiento es mucho más acusada entre los altavoces frontales, aunque aparece resaltada la característica de verticalidad, o una mayor sensación de altura en el plano vertical de la imagen sonora.

Los altavoces traseros y laterales donde se comportan sobre todo con gran efectividad es en ofrecer una información de ambiente. Esto motiva que resulte difícil para el oyente identificar una fuente puntual, lo que mejora la sensación de sonido envolvente.

Respecto a la prueba comparativa de audición realizada en la Cámara Anecóica del Instituto de Acústica, debemos decir que la única escucha que llevamos a cabo, después de la complicación excesiva del montaje del sistema, resultó plenamente satisfactoria. Un recinto como esta cámara, con ausencia total de reflexiones en paredes, suelo y techo, adquiere otro carácter con un sistema como el que nosotros proponemos que lo que hace es añadirlas. Sin embargo es necesario darse cuenta de que es un tipo de recinto difícilmente repetible y, por tanto, no nos puede indicar una valoración significativa.

Una objeción necesaria sobre las pruebas psicotécnicas de audición: Requieren una gran cantidad de tiempo material para organizarlos, así como

grandes dosis de paciencia y trabajo, tanto para el grupo de oyentes como para los experimentadores.

Las preparaciones, las descripciones y la ejecución de las diferentes pruebas deben ser exhaustivos si se quiere que sean fiables. Desde luego dichas pruebas experimentales resultan imprescindibles si pretendemos encontrar los atributos más correctos de la percepción, en nuestro caso auditiva, en paralelo con el desarrollo de la psicología cognitiva en este campo aplicado de la Comunicación.

Si no se hacen más ensayos que permitan encontrar procedimientos aceptables hasta llegar a una cierta normalización es probable que se deba a una falta de entendimiento entre psicólogos y expertos en audio.

Obviamente es necesario un trabajo interdisciplinar. Conviene buscar las adecuadas correlaciones entre las características físicas y los atributos perceptivos lo que, necesariamente, requiere pruebas de este tipo.

## NOTAS

37. Dicho trabajo estudia las diferencias perceptivas entre una imagen auditiva proveniente de un espacio sonoro virtual monofónico y otro estereofónico y la comparación de ambos con un espacio sonoro virtual pseudo - estereofónico.

38. La firma Roland, dedicada a la fabricación de instrumentación musical y electroacústica en general, ha desarrollado recientemente un prototipo aplicable a la grabación sonora, basado en las nuevas tecnologías de procesado digital de señales, que ha denominado RSS, siglas que significan Roland Sound Space. El sistema codifica y restituye información sonora virtual en un arco imaginario de 180 grados tanto en el plano horizontal como en el plano vertical y en dos y cuatro canales sintetizados.

39. Gran parte de la información relacionada con estos dispositivos, se puede encontrar en cualquier catálogo de Semiconductores, en el apartado de Líneas de Retardo analógicas. En revistas de electrónica como Mundo Electrónico o Elektor, también encontramos diseños que utilizan como circuito integrado fundamental el referido TDA 1022. Una información exhaustiva sobre las características técnicas de configuración del circuito y de su fundamento matemático lo encontramos en la Nota de Aplicación de la revista Miniwatt, de Septiembre del año 1980, titulada: "TDA 1022: Línea de retardo analógica para proceso de señales de audio".

40. Publicado por primera vez aplicado a investigaciones relacionadas con la transmisión telegráfica en el año 1924 en el "Bell System Technical Journal", y en el año 1928 en un nuevo artículo titulado: "Certain Topics



in Telegraph Transmission Theory". Teorema que fué referenciado, éste mismo año por R.V.L. Hartley en su teoría sobre la Transmisión de la Información.

Estas referencias y la teoría a la que dan pie, aparecen recogidas en el libro: "The Mathematical Theory of Communication", de Shannon y Weaver publicado en el año 1949 (op.cit.).

41. Escala "A" de sonómetros. Aparece definido en la Norma Internacional IEC 651 del año 1979. Utiliza una red electrónica de ponderación con objeto de que la sensibilidad del instrumento varíe con la frecuencia en forma similar a como lo hace el oído humano. La relación entre frecuencias y niveles de presión sonora es:

| FRECUENCIA (Hz) | NIVELES (dB) |
|-----------------|--------------|
| 31,5            | -39,4        |
| 63              | -26,2        |
| 125             | -16,1        |
| 250             | -8,6         |
| 500             | -3,2         |
| 1000            | 0            |
| 2000            | 1,2          |
| 4000            | 1            |
| 8000            | -1,1         |
| 10000           | -2,5         |

42. Las curvas de igual sonoridad o isofónicas nos indican que las variaciones en la sensación auditiva en distintos individuos, que no son más que valoraciones subjetivas, pueden llegar a normalizarse y expresarse objetivamente en forma de curvas de nivel en un gráfico de ordenadas - abcisas. De éstas curvas se deduce que la sensación de sonoridad varía de un individuo a otro, pero sobre todo evidenciaron que varía con la intensidad del sonido pero también con la frecuencia. De modo que a bajos niveles, para tener la misma sensación de sonoridad a cualquier frecuencia audible, necesitamos aportar mayor nivel de presión sonora en frecuencias graves y agudas que en frecuencias medias.

43. Puede parecer gratuito e incluso exagerado hablar de infra-frecuencias en la reproducción electroacústica. Sin embargo y ya desde la aparición de

los primeros discos compactos realizados por sellos discográficos de calidad, pueden encontrarse en el mercado grabaciones en las que aparecen incluidos sonidos de frecuencias muy inferiores a los 30 Hz. Valgan como muestra algunos ejemplos:

Telarc - CD80041 - Overtura 1812 de Tschaikowsky : 10 Hz a 120 dB.

Argo - 417-159-2 - Sonata nº 1 de Hindemith : 18 Hz a 110 dB.

Telarc - CD80086 - Suite Gran Cañón de Gofré : 15 Hz a 120 dB.

DMP - CD 454 - Big Notes of Flim and the BBs : 13 Hz a 120 dB.

Telarc - CD 80106 - Así habló Zaratustra de Strauss: 17 Hz a 110 dB.

Telarc - CD80088 - Tocata y fuga en Re menor de Bach:19 Hz a 120 dB.

Windham Hill- DIDX-141- Banda sonora de "Country" : 27 Hz a 110 dB.

44. En la escala habitual de valoración de este tipo de ensayos de audición, podemos apreciar los diferentes grados de fidelidad que nos proporcionan los equipos de reproducción sonora más utilizados:

Teléfono. Entre 0 y 1. Muy malo.

Radio-casete portátil. Entre 2 y 3. Regular.

Equipo hi-fi estéreo. Entre 4 y 8. Bueno.

El nivel 9 correspondería a un equipo de reproducción ideal y, por supuesto, el nivel 10 debe corresponderse con el original.



**CAPITULO VI**

*CONCLUSIONES*

## CONCLUSIONES

A partir del esquema elemental de variables electroacústicas que influyen en la percepción de la imagen auditiva decidimos el modelo teórico que utilizaremos para llevar a cabo el análisis. Prescindimos de modelos marcadamente técnicos, habituales en este campo de estudio y experimentación, para centrarnos en el de la Comunicación Acústica. Así pretendemos conjugar parámetros objetivos, mensurables y repetitivos, con valoraciones subjetivas en un intento de atribuir significado a sensaciones que pertenecen a los dominios psicológico y cognitivo.

Los sistemas de grabación y reproducción como variable eléctrica y la geometría y los materiales de las salas de audición como variable acústica, representan los factores fundamentales que configuran lo que hemos definido como el espacio sonoro virtual.

Estudiamos estas variables a partir de consideraciones técnicas pero contemplándolas desde su trasfondo histórico, añadiendo ocasionalmente los factores económicos que influyeron en su desarrollo.

Tanto la acústica de las salas de audición y su variabilidad como el conjunto de transductores e instrumentos que intervienen en los procesos de grabación y reproducción, deben conocerse en profundidad, agruparse como un sistema de elementos que interrelacionan y pueden organizarse, según nosotros proponemos, bajo el concepto de Audionomía.

Durante los últimos años, la audiotecnología ha experimentado un progreso extraordinario. El notable nivel de sofisticación alcanzado podría habernos inducido a pensar que, mediante un simple refinamiento de esta tecnología, los sonidos llegarían a oírse con una fidelidad óptima. Paralelamente, adelantos tecnológicos similares a los que nos ha permitido crear y manipular sonidos con tanta efectividad, también han desarrollado instrumentos de medida y análisis de precisión que, del mismo modo, han revelado la existencia de sutiles mecanismos en el sistema nervioso que determinan y consiguen modificar la forma en que se perciben las imágenes auditivas. A veces estos mecanismos pueden ser tan dominantes que la percepción resultante tiene poca relación con el sonido presentado. Por lo tanto, es necesario comprender las variables con las que trabajamos para lograr el objetivo técnico de una fidelidad óptima que permita mejorar los

aspectos perceptivos de la comunicación auditiva.

Con anterioridad, la ciencia de la psicoacústica ha estudiado principalmente la percepción de sonidos individuales aislados, o combinaciones simples de tales sonidos. Si bien se ha obtenido mucha información importante mediante estos estudios, los mismos exploran solamente un aspecto limitado del proceso auditivo. Cuando, en cambio, se estudian los mismos aspectos perceptivos con un tipo de señales más elaboradas, como la palabra o la música, entran en juego mecanismos más complejos de diferente nivel, que pueden modificar sustancialmente lo que se escucha. Esta posibilidad no es atípica sino que refleja el proceso normal de la audición, por lo que una comprensión de dichos mecanismos superiores es particularmente importante para trabajar con las variables de la comunicación acústica.

Los efectos que se describen y se demuestran aquí indican que, cuando se trata de configuraciones sonoras de cierta complejidad, nuestro sistema auditivo puede llegar a ser extremadamente ilusionable. Esta es una consecuencia inevitable de un sistema que ha evolucionado para optimizar la percepción de los sonidos producidos en nuestro ambiente natural. Primero, la interpretación de la mayoría de los sonidos de origen natural, cuando se los considera individualmente, es decir, aislados del contexto o del medio ambiente sonoro donde se producen, es ambigua. Para resolver

tales ambigüedades, es necesario hacer uso de toda la información adicional de que dispongamos. Esta información puede proceder de los sonidos circundantes, o de las percepciones de otros sistemas sensoriales. La capacidad del mecanismo de la audición para utilizar tal información externa generalmente brinda una ventaja enorme. Pero, de la misma manera, si un sonido se presenta en circunstancias engañosas o inapropiadas, la percepción del mismo puede llegar a equivocarnos totalmente.

Segundo, los sonidos que se presentan en un ambiente virtual están sujetos a cambios considerables y complejos antes de que lleguen a nuestros oídos. Por esa razón, hemos desarrollado un número de mecanismos especiales para contrarrestar los efectos de tales cambios, y también para explotarlos de forma que suministren más información acerca de las fuentes del sonido. Dichos mecanismos también son extremadamente útiles para escuchar los sonidos de origen natural. Pueden, sin embargo, ocasionar percepciones muy equivocadas cuando los sonidos se presentan en una forma alterada. Primero, las corrientes sonoras múltiples emitidas paralelamente desde diferentes regiones del espacio pueden ocasionar ilusiones muy convincentes. Las ilusiones son particularmente notables cuando se escucha con auriculares, pero también se manifiestan en la reproducción de sonidos presentados estereofónica o multifónicamente,

incluso en actuaciones en vivo en salas de concierto. Por lo tanto, tienen implicaciones importantes para los ingenieros dedicados a las grabaciones y reproducciones estereofónicas, el diseño de sistemas sonoros, y la acústica de salas de audición.

Las ilusiones que tienen lugar cuando se presenta una señal enmascarada, incluso podríamos decir degradada, por un ruido intermitente, o aparece en combinación con otros sonidos, también suponen una modificación significativa de lo percibido. Dependiendo de las relaciones espectrales entre los sonidos en cuestión, el oyente puede generar una resíntesis ilusoria de la señal encubierta, o permitir en cambio que el sonido externo cree una interferencia de la percepción. La utilización positiva más evidente de este tipo de fenómenos lo encontramos en la definición de los algoritmos matemáticos de compresión de datos de las señales digitales. Los nuevos avances en audiotecnología - DCC de Philips y MD de Sony - a los que nos hemos referido así lo ponen de manifiesto.

El perfeccionamiento de sistemas de reproducción sonora cada vez más sofisticados para salas cinematográficas y audiovisuales en general, así como el importante desarrollo de la televisión y del vídeo estereofónicos, junto al incremento de los sistemas "Surround", nos enfrenta con la importante cuestión de la forma en que la percepción del sistema visual afecta al sonido percibido. El efecto de la orientación del cuerpo en la



percepción del sonido ya hemos comprobado que, para el caso de nuestro sistema de procesado de señal, no es tan considerable como pudiera deducirse de otros estudios preliminares.

Por otro lado la localización de objetos o instrumentos en un espacio sonoro virtual y la modificación de la percepción de ambiente a través de determinadas imágenes sonoras inducidas son altamente dependientes de variables tales como la geometría y el volumen de las salas de escucha, así como de la situación espacial relativa de las pantallas acústicas que generan dichos espacios sonoros.

Si alguna consecuencia global se pudiera inferir de estas deducciones sería la de que no debiéramos pensar en el mecanismo auditivo como en un elemento que funciona aislado, sino formando parte de un único sistema que interacciona complejamente.

El prototipo experimental que se presenta introduce otra variable añadida, esta vez a través de la electrónica, y modifica el campo sonoro radiado generando retardos de la señal y variaciones de las frecuencias características del margen audible.

En función de los resultados obtenidos en las pruebas de percepción de las imágenes auditivas inducidas, se evidencia un incremento de sensación sonora envolvente en el espacio físico que queda concretado por la posición de escucha.

Las posibles aplicaciones del prototipo que hemos diseñado y desarrollado quedan enmarcadas en las nuevas corrientes que están definiendo el alcance de los medios audiovisuales de los años 90.

Aspectos comunicacionales y psicoacústicos trabajan al unísono para definir el entorno sonoro virtual de las nuevas tecnologías. Los avances en este campo alcanzan un grado de crecimiento y renovación de carácter exponencial. Por esta razón, hablar de ellos con una perspectiva mayor de una década es enormemente arriesgado.

Las evidentes tendencias experimentales en este campo de la audiotecnología y los espacios sonoros virtuales; sus aplicaciones cada vez más sofisticadas en el campo de los medios audiovisuales y en el de las comunicaciones - la cinematografía, el video digital, la alta definición en televisión, satélites y teleconferencias - y sobre todo la interacción con la imagen visual, induce a seguir investigando en este dominio científico tan reciente y donde tantas facetas están por explorar.



**CAPITULO VII**



*BIBLIOGRAFIA*

## BIBLIOGRAFIA

Las siglas JAES y JASA, corresponden a las revistas:

JAES: Journal of the Audio Engineering Society.

JASA: Journal of the Acoustical Society of America.

ANDO, Y. & IMAMURA, M. (1979)

"Subjective Preference Tests for Sound Fields in Concert Halls", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 65, pp. 229-239.

BALLOU, G. (ED.) (1987)

*Handbook for Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia*, Indiana, Howard W. Sams.

BARRON, M. & MARSHALL, A.H. (1981)

"Spatial Impression Due to Early Lateral Reflections in Concert Halls: The Derivation of a Physical Measure", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 77, pp. 211-232.

BAUER, B.B. (1963)

"Some techniques toward better stereophonic perspective".  
*IEEE Transactions on audio*, June, pp. 74-79.

BEKESY, G. von, (1960)

*Experiments in hearing*, New York, Mc. Graw Hill.

BELL, A. M. (1881)

*Sounds and Their Relations*, Philadelphia, Cowperthwait.

- BENNET, J.C. (1985)  
"A new approach to the assesment of stereophonic sound system performance", *JASA*, 33, 5, pp. 314-320.
- BENSON, K.B. (ED.) (1988)  
*Audio Engineering Handbook*, New York, McGraw-Hill.
- BERANEK, L.L. (1962)  
*Music, Acoustics and Arquitecture*, New York, Wiley.
- BERANEK, L.L. (1975)  
"Changing role of the expert", *JASA*, Vol. 58, N°3, September 1975, pp. 547-555.
- BLAUERT, J. (1970)  
"Sound localization in the median plane", *Acustica*, 22, pp.205-213.
- BLAUERT, J. (1982)  
*Localization of sound: Theory and aplications*. New York, Amphora.
- BLAUERT, J. (1983)  
*Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound localization*, Cambridge, MA, MIT Press.
- BLAUERT, J. & LINDEMANN, W. (1986)  
"Auditory spaciousness: Some further psychoacoustic analyses", *JASA*, Vol. 80, N° 8, August 1986, pp. 533-542.
- BOER, de, K. (1940)  
"Stereophonic sound reproduction", *Philips Technical Review*, 5, 4, April, pp. 107-114.
- BOLT, R. H. (1946)  
"Note on Normal Frequency Statistics For Rectangular Rooms", *JASA*, Vol. 18, N° 1, July 1946, pp 130-133.

- BONAVIDA, A. (1977)  
"Acústica de pequeños auditorios para reproducción musical", *Mundo Electrónico*, 67, pp. 53-67.
- BONELLO, O.J. (1981)  
"A New Criterion for the Distribution of Normal Room Modes", *JAES*, Vol. 29, 1981, pp. 597-605.
- BONER, C.P. (1952)  
"Performance of Broadcast Studios Designed With Convex Surfaces of Plywood", *JASA*, Vol. 23, 1952, pp 244-247.
- BORISH, J. (1985)  
"An Auditorium Simulator for Domestic Use", *JAES*, Vol. 34, 1986, pp. 536-549.
- BROADVENT, D.E. (1983)  
*Percepción y comunicación*, Madrid, Debate.
- BURKE, R. (1981)  
"Sonido estéreo para cine", *Mundo Electrónico*, 111, pp. 101-111.
- BURREZ i FLORIA, G. (ED.) (1989)  
*Crónica de la Técnica*, Barcelona, Plaza y Janés.
- BUTLER, T. (1991)  
"Definitely DCC", *ProSound News*, Enero, p. 3.
- CABOT, R.C. y Otros (1990)  
"Sound Levels and Spectra of Rock Music", *Acoustics Research Laboratory, Rensselaer Polytechnic Institute*, New York, Troy.
- CALVO, B. (1983)  
"Estereofonía simulada para sonido de TV.", *Revista Española de Electrónica*, Enero, pp. 86-90.
- CANAC, F. (1967)  
"L'acoustique des Théâtres antiques", París, *Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*.

CARBINES, P (1982)

"Ambisonics: Circles of Confusion", *Studio Sound*, August, 1982, pp. 60-62.

CEOEN, C. (1971)

"Comparative stereophonic listening test", *Paper of the Convention JAES 1971*.

CHOWNING, J.M. (1971)

"The simulation of moving sound sources", *JAES*, Vol. 19, N° 1, pp. 2-6.

CLARK, D. (1982)

"High-Resolution Subjective Testing Using a Double-Blind Comparator", *JAES*, Vol. 30, N°5, May 1982, pp. 330-338.

CLIFFORD, M. (1986)

*Microphones*, Blue Ridge, PA.(USA), TAB.

CONDAMINES, R. (1978)

*Stéréophonie*, Paris, Masson.

COOPER, D.H. & BAUCK, J.L. (1989)

"Prospects for Transaural Recording", *JAES*, Vol. 37, N° 1/2, January/February 1989, pp. 3-19.

CROFT, S. (1991)

"Euro Digital Lavy, Inminent", *ProSound News*, Septiembre, p. 19.

DAMASKE, P. (1967)

"Subjektive Untersuchung von Schallfeldern", *ACUSTICA*, Vol. 19, 1967/68, pp. 199-213.

DAMASKE, P. & MELLERT, V. (1969)

"Ein Verfahren zur richtungstreu Schallabbildung des oberen Halbraumes über zwei Lautsprecher", *ACUSTICA*, Vol. 22, 1969/70, pp. 153-162.

- DAMPIER, W.C. (1972)  
*Historia de la Ciencia*, Madrid, Tecnos.
- D'ANTONIO, P. & KONNERT, J.H. (1984)  
"The Reflection Phase Grating Diffusor: Design Theory and Application", *JAES*, Vol. 32, Nº 4, April 1984, pp. 228-238.
- D'ANTONIO, P. (1991)  
"The Acoustical Design of a Media Room", *Sound and Video Constructor*, Diciembre, 1991, pp. 12-16.
- DUBNEY, C. (1982)  
"Ambisonics: An Operational Inside", *Studio Sound*, August, 1982, pp. 52-58.
- DARWIN, CH.R. (1859)(1983)  
*El origen de las especies*, Madrid, Sarpe.
- DAVIS, D. (1980)  
"The LEDE concept for the control of acoustics and psychoacoustics presentation...", *JAES*, Vol. 28, Nº 9, September 1980.
- DEUTSCH, D. (1983)  
"Auditory illusions and audio", *JAES*, 31, 9, pp. 606-617.
- DOLBY, R. (1987)  
"The Spectral Recording Process", *JAES*, Vol. 35, Nº 3, March 1987, pp. 99-118.
- EARGLE, J.M. (1986)  
"An Overview of Stereo Recording Techniques for Popular Music", *JAES*, Vol. 34, Nº 9, June 1986, pp. 490-503.
- EARGLE, J.M. (1992)  
*Handbook of Recording Engineering*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- ENCICLOPEDIA LAROUSSE DE LA MUSICA* (1987)  
Barcelona, Argos-Vergara.



FIELDER, L.D. y BENJAMIN, E. M. (1988)  
"Subwoofer Performance for Accurate Reproduction", *JAES*, Vol. 36, Nº 6, June 1988, pp. 443-456.

FIELDER, L.D. (1985)  
"The Audibility of Modulation Noise in Floating-Point Conversion Systems", *JAES*, Vol. 33, Nº10, October 1985.

FIELDER, L.D. (1982)  
"Dynamic-Range Requirement for Subjectively Noise-Free Reproduction of Music", *JAES*, Vol. 30, Nº 7/8, July/August 1982, pp. 504-511.

FLETCHER, H. and MUNSON, W.A. (1933)  
"Loudness, its definition, measurement, and calculation", *JASA*, vol. 5, pp. 82-87.

FLETCHER, H. (1941)  
"The stereophonic sound film system - General theory", *Journal of the Sound Motion Picture Engineering*, 37, October, pp. 331-340.

FLETCHER, H. (1972)  
*Speech and hearing in communication*, New York, Krieger.

FOX, B. (1983)  
"Holophonics, an investigation", *Studio Sound*, July, pp. 90-96.

FRANCES, R. (1981)  
*La perception*, Paris, P.U.F.

FRANÇON, M. (1969)  
*HOLOGRAPHIE*, Paris, Masson.

FRANSSEN, N.V. (1963)  
*Estereofonía*, Madrid, Paraninfo.

FRENCH, N.R. & STEINBERG J.C. (1947)  
"Factors governing the Intelligibility of Speech Sounds", *JASA*, vol. 19, pp. 90-119.

FURMANN, A. & HOJAN, E. (1990)  
"On the Correlation Between the Subjective Evaluation and the Objective Evaluation of Acoustic Parameters for a Selected Source", *JAES*, vol. 38, nº 11, pp. 837-844.

GABRIELSSON, A. & SJOGREN, H. (1979)  
"Perceived sound quality of sound reproducing systems". *JASA*, 65, 4, pp. 1019-1033.

GABRIELSSON, A. & LINDSTROM, B. (1985)  
"Perceived sound quality of high fidelity loudspeakers", *JAES*, vol. 33, nº 1/2, pp.33-52.

GERZON (1985)  
"Ambisonics in Multichannel Broadcast and Video", *JAES*, Vol. 33, November 1985, pp. 859-871.

GOUDOT-PERROT, A. (1974)  
*Les organes des sens*, Paris, P.U.F..

GRIESINGER, D. (1986)  
"Spaciousness and Localization in Listening Rooms and their Effects on the Recording Technique", *JAES*, vol. 34, nº 4, pp. 255-268.

GRIESINGER, D. (1989)  
"Equalization and Spatial Equalization of Dummy-Head Recordings for Loudspeaker Reproduction", *JAES*, Vol. 37, Nº 1/2, January/February 1989, pp. 20-29.

GUIRAO, M. (1980)  
*Los sentidos, bases de la percepción*. Madrid, Alhambra.

HARWOOD, H.D. (1968)  
"Stereophonic image sharpness", *Wireless World*, July, pp. 207-211.

HERDER, J.G. (1771) (1982)  
*Ensayo sobre el origen del lenguaje*, Madrid, Alfaguara, 1982.

- HOUTGAST, T. & STEENEKEN, H.J.M. (1972)  
"Envelope Spectrum and Intelligibility of Speech in Enclosures", *IEEE - AFCRL 72 Speech Conference*.
- HUBER, D.M. (1988)  
*Microphone Manual. Design and Application*, Indiana, Howard W. SAMS.
- HUTTO, E. (1977)  
"Emile Berliner, Eldridge Jhonson, and the Victor Talking Machine Co.", *JAES*, vol. 25, pp. 666-673.
- ISOM, W.R. (1977)  
"A Wonderfull Invention but not a Breakthrough", *JAES*, 25, 10/11, pp. 657-659.
- JACKSON, G.M. & H.G. LEVENTHALL (1972)  
"The Acoustics of Domestic Rooms", *Applied Acoustics*, vol. 5, 1972, pp. 265-277.
- JESSEL, M. (1973)  
*Acoustique theorique. Propagation et holophonie*, Paris, Masson.
- JONES, P. (1977)  
"The Record Industry in Europe", *JAES*, Vol. 25, pp. 789-795.
- JORDAN, V.L. (1969)  
"Room Acoustics and Architectural Acoustics Development in Recent Years", *Applied Acoustics*, 2, 1969, pp. 59-81.
- KEIDEL, W.D.(ED.) (1975)  
*Handbook of sensory physiology*, New York, Springer-Verlag.
- KONDRATOV, A.M. (1973)  
*Del sonido al signo*, Buenos Aires, Paidós.
- KRYTER, K.D. (1962)  
"Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index", *JASA*, vol. 34, pp. 1689-90.

- KUROZUMI, D. & OHGUSHI, K. (1983)  
"The relationship between the cross-correlation coefficient of two-channel acoustic signals and sound image quality", *JASA*, Vol. 74, N° 6, December 1983, pp. 1726-1733.
- LACKNER, J.R. (1983)  
"Influence of posture on the espatial localization of sound", *JAES*, 31, 9, PP. 650-660.
- LAURIDSEN, H. (1954, 1956)  
("Estereofonía sintetizada"), *Ingenioren*, 47, pp.906-920.  
("Pseudo-estereofonía"), *Gravesaner Blatter*, H 5, pp.28-50.
- LEAKEY, D.M. (1956, 1960)  
"Two channel stereophonic sound systems", *Wireless World*, May, pp.206-210.  
"Stereophonic sound systems.I and II", *Wireless World*, April, pp. 154-160, May, pp. 238-240.
- LEIPP,E. (1971, 1977)  
*Acoustique et musique*, (4ª Ed. 1984), Paris, Masson.  
*La machine a écouter*, Paris, Masson.
- LEVENTHAL, L. (1986)  
"Type 1 and Type 2 Errors in the Statistical Analysis of Listening Tests", *JAES*, Vol. 34, N°6, June 1986, pp. 437-453.
- LEWELL, J. (1980)  
*Multivision*, New York, Focal Press.
- LIENARD, J.S. (1982)  
"La synthèse de la parole", Paris, en el catálogo de la exposición: *"L'oreille oubliée"*.
- LIPSHITZ, S.P. & VANDERKOOY, J. (1981)  
"The great debate: Subjetive evaluation", *JAES*, 29, 7/8, pp.482-490.

- LIPSHITZ, S.P. (1986)  
"Stereo Microphone Techniques", *JAES*, Vol. 34, Nº 9, September 1986, pp. 716-735.
- LOCHNER, J.P.A. & BURGER, J.F. (1964)  
"The Influence of Reflections on Auditorium Acoustics", *Sound & Vibration*, vol. 4, pp. 426-454.
- LOUDEN, M.M. (1971)  
"Dimension-Ratios of Rectangular Rooms With Good Distribution of Eigentones", *Acustica*, Vol. 24, 1971, pp 101-103.
- LOWENTHAL, D. (1976)  
"En busca de los sonidos perdidos", *El Correo de la Unesco*, Noviembre 1976, pp. 15-22.
- METCALF, J.D. (ED.) (1990)  
"Guide to Acoustic Practice", *BBC Engineering*, London, British Broadcasting Corporation.
- MOLES, A. (ED.) (1973)  
*La comunicación y los mass-media*, Madrid, Mensajero.
- MOLINO, J.A. (1974)  
"Psychophysical verification of predicted interaural differences in localizing distant sound sources", *JASA*, 55,1,PP. 139-147.
- MOORE, H.B. (1960, 1961)  
"Listener ratings of stereophonic systems", *IRE Transactions on Audio*, September, pp. 153-160.
- "Effect of system parameters on the stereophonic effect", *JAES*, vol. 9, nº 1, pp. 7-12.
- MOSELY, J. (1960, 1981)  
"Eliminating the stereo seat", *JAES*, 8, 1, pp. 46-51.
- "Motion picture sound in record industry perspective", *JAES*, 29, 3, pp. 114-125.

- MULLIN, E. (1977)  
"Magnetic Recording for Original Recordings", *JAES*,  
Vol. 25, pp. 696-702.
- PEUTZ, V.N.A. (1971)  
"Articulation Loss of Consonants Influenced by Noise,  
Reverberation, and Echo", *JAES*, vol. 19, pp. 915-919.
- PFEIFFER, J.F. (1977)  
"The Great Artist", *JAES*, Vol. 25, pp. 885-892.
- PIERCE, J.R. (1985)  
*Los sonidos de la música*, Barcelona, Labor.
- PIERON, H. (1974)  
*La sensation*, Paris, P.U.F.
- PIGEAT, J.P.(ED.) (1982)  
"L'oreille oubliée"  
*Catálogo de la Exposición, Centro George Pompidou*, 1982, Paris.
- PLENGE y Otros, (1980)  
"Which bandwidth is necessary for optimal sound transmission?",  
*JAES*, Vol. 28, March 1980, pp. 114-119.
- PRIEBERG, F.K. (1964)  
*Música y máquina*, Madrid, Zeus.
- RAKERD, B. & W.M. HARTMANN (1985)  
"Localization of sound in rooms, II: The effects of a single reflecting  
surface", *JASA*, Vol. 78, N°2, August 1985, pp. 524-533.
- RIGDEN, J.S. (1977)  
*Physics and the sound of music*, New York, Wiley.
- ROSEMBAUM, J. (1978)  
"Sound thinking", *Film comment*, March, pp. 38-40.

- ROSSING, T. (1981)  
"Physics and psychophysics of high fidelity sound", *The Physics Teacher*, May, pp. 293-304.
- ROSSING, T. (1990)  
*The Science of Sound*, New York, Addison - Wesley.
- RUDA, J. C. (1977)  
"Record Manufacturing: Making Sound for Everyone", *JAES*, Vol. 25, pp. 701-712.
- RUMSEY, F. (1992)  
"The Recordable CD", *Studio Sound*, June, pp. 70-77.
- SCHIFF, W. (1980)  
*Perception: An applied approach*, Boston, Houghton Mifflin.
- SCHIFFMAN, H.R. (1981)  
*La percepción sensorial*, Méjico, Limusa.
- SCHREGER, CH. (1978)  
"The second coming of sound", *Film Comment*, March, pp. 34-37.
- SCHROEDER, M.R. (1957)  
"New interpretation of the stereophonic effect in Lauridsen's and similar binaural experiments", *JASA*, vol. 29, 6, p. 774.
- SCHROEDER, M.R. (1961)  
"Subjetive evaluation of factor affecting two channel stereophony", *JAES*, vol. 9, 1, pp. 19-28.
- SCHROEDER, M.R. (1961)  
"Improved Qasi-Stereophony and "Colorless" Arificial reverberation", *JASA*, Vol. 33, Nº 8, August 1961, pp. 1061-1064.
- SEPMeyer, L.W. (1965)  
"Computed Frequency and Angular Distribution of the Normal Modes on Vibration in Rectangular Rooms", *JASA*, Vol. 37, Nº 3, March 1965, pp. 413-423.

- SHANNON, C.E. (1949)  
*The mathematical theory of communication*, New York, University of Illinois Press.
- SIGUERO, M. (1985)  
"Percepción Estereofónica", Tesis de Licenciatura, Inédito, Madrid, Universidad Complutense.
- SLOT, G. (1957)  
*Del micrófono al oído*, Madrid, Paraninfo.
- SLOT, G. (1967)  
*Qualité du son*, Monographies Philips.
- SNOW, W.B. (1955)  
"Basic principles of stereophonic sound", *IRE Transactions on Audio*, March/April, pp. 42-53.
- STEVENS, S.S. (1975)  
*Sound and hearing*, New York, Time-Life Books.
- STREICHER, R. & DOOLEY, W. (1985)  
"Basic Stereo Microphone Perspectives - A Review", *JAES*, Vol. 33, Nº 7/8, July/August 1985, pp. 548-556.
- TINKHAM, R.J. (1953)  
"Binaural or stereophonic?", *JAES*, January.
- TOBIAS, J.V. (1970)  
*Foundations of modern auditory theory*, New York, Academic Press.
- TOOLE, F.E. (1982)  
"Listening test", *JAES*, 30, 6, pp. 431-445
- TOOLE, F.E. (1985)  
"Subjective measurements", *JAES*, 33, 1/2, P P. 2-32.
- TOOLE, F.E. y McA. SAYERS (1965)  
"Lateralization Judgments and the Nature of Binaural Acoustic Images", *JASA*, Vol. 37, Nº2, February 1965, pp. 319-324.



- TREMAINE, H.M. (1977)  
*Audiociclopedia*, Barcelona, Boixerau.
- VOELKER, E. J. (1985)  
"Control Rooms for Music Monitoring", *JAES*, Vol. 33, nº 6, June  
pp. 437-442.
- VOLKMANN, J.E. (1942)  
"Polycylindrical Diffusers in Room Acoustical Design", *JASA*,  
Vol. 13, 1942, pp 234-247.
- VURPILOT, E. (1963)  
*L'organisation perceptive*, Paris, Vrin.
- WALLACH, H. (1939)  
"On sound localization", *JASA*, 10, 4, PP. 270-274.
- WELCH, W. L. (1977)  
"Edison and His Contributions to the Record Industry", *JAES*,  
Vol. 25, pp. 660-665.
- WHITE, F.A. (1975)  
*Our acoustic environment*, New York, Wiley.
- WHITE, E & BROWN, D. (1975)  
*El primer hombre*, Barcelona, Salvat (Time-Life).
- WINCKEL, F. (1960, 1967)  
*Vues nouvelles sur le monde des sons*, Paris, Dunod.  
*Music, sound and sensation*, New York, Dover.
- WOLVIN, A.D. & COAKLEY, C.G. (1985)  
*Listening*, Dubuque (Iowa), Wm.C. Brown Publishers.
- WOODWARD, J.G. (1977)  
"Quadraphony - A review", *JAES*, Vol. 25, pp. 843-855.
- ZWICKER, E. (1981)  
*Psychoacoustique*, Paris, Masson.