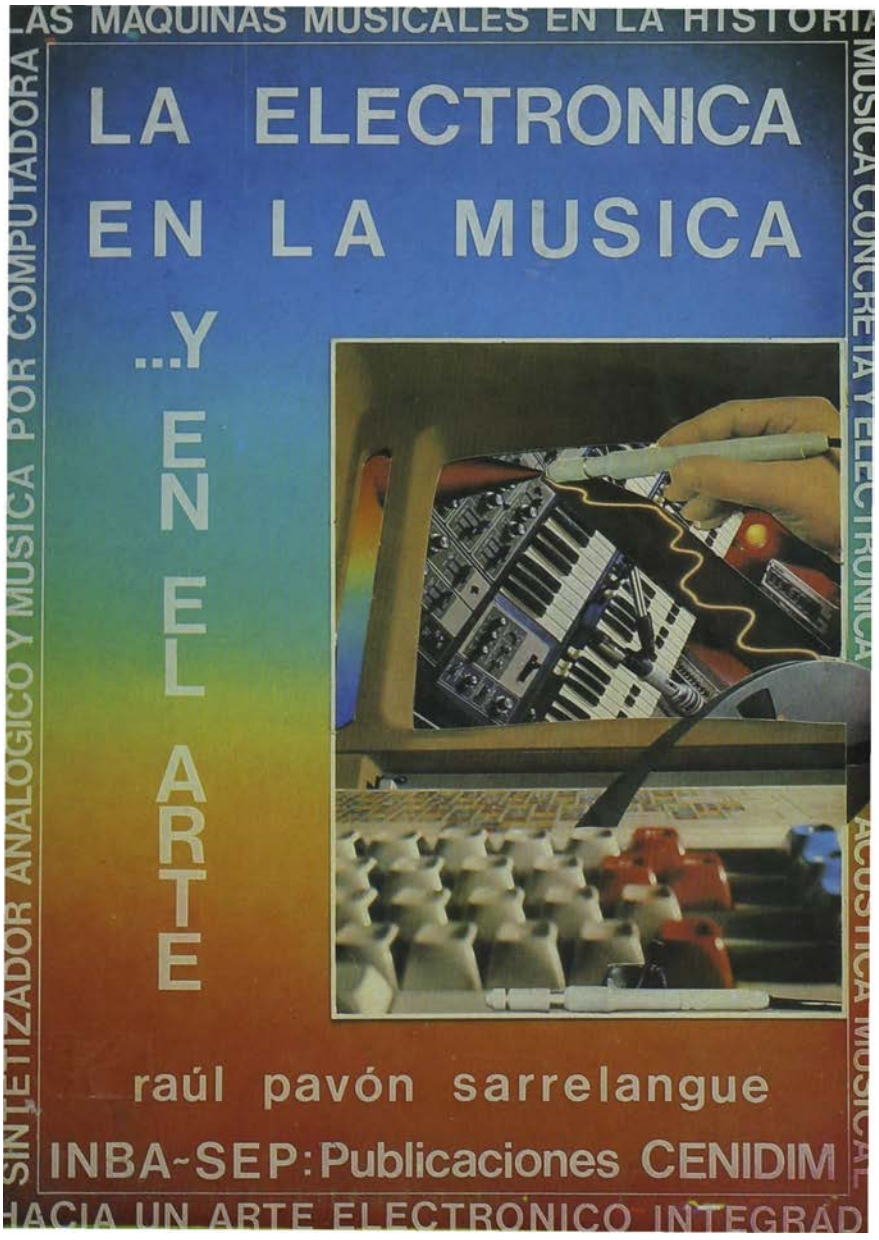
CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA

INBA

Repositorio de Investigación y Educación Artísticas
del Instituto Nacional de Bellas Artes



CENIDIM

www.inbadigital.bellasartes.gob.mx

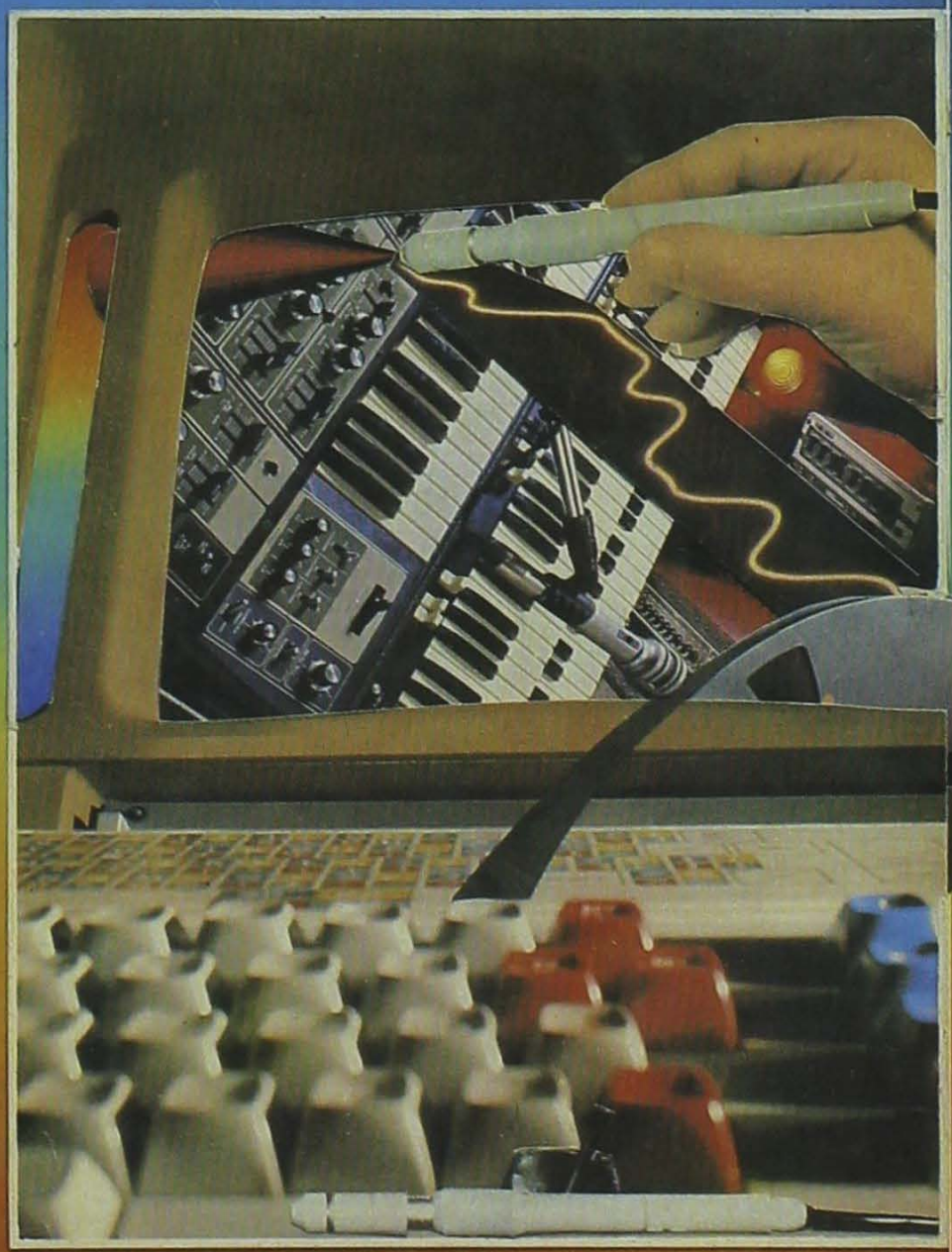
Formato digital para uso educativo sin fines de lucro.

Cómo citar este documento:
Pavón Sarrelangue, Raúl, *La electrónica en la música y en el arte.* México: SEP, INBA, Cenidim, 1981, 316 p.

LAS MAQUINAS MUSICALES EN LA HISTORIA

LA ELECTRONICA EN LA MUSICA

...Y EN EL ARTE



raúl pavón sarrelangue

INBA-SEP: Publicaciones CENIDIM

SINTETIZADOR ANALOGICO Y MUSICA POR COMPUTADORA

MUSICA CONCRETA Y ELECTRONICA

ACUSTICA MUSICAL

HACIA UN ARTE ELECTRONICO INTEGRAD

Pavón Sarrelangue, Raúl

AUTOR

La electrónica en la música --y en el arte

TITULO

ML1092
P339

VENCE	NOMBRE	DEV.

RAUL PAVON SARRELANGUE

LA ELECTRONICA EN LA MUSICA

...Y EN EL ARTE

CENIDIM BIBLIOTECA INBA

publicaciones

cenidim

INBA SEP

CENIDIM DIFUSION

directorio

instituto nacional de bellas artes

lic. juan josé bremer
director general

mtro. fernando lozano
subdirector general
de música y danza

mtra. maría luisa lizárraga-orozco
directora de música

mtro. manuel enríquez
director del cenidim

© 1981 raúl pavón s.
derechos reservados

primera edición

Impreso y hecho en México

PRESENTACION

Con esta obra iniciamos una serie de publicaciones pedagógicas que estarán dedicadas a la ampliación y actualización de conocimientos, tanto de maestros como de estudiantes e interesados en general.

El objetivo fundamental que perseguimos con este libro, es el de llenar el hueco existente en esta actividad creativa y de experimentación, particularmente en lo que concierne a textos en español.

El Ing. Raúl Pavón Sarrelangue, investigador reconocido y Coordinador de la especialidad electroacústica en el CENIDIM, ha vertido su experiencia magisterial y algunos de sus hallazgos personales para componer esta obra y ha dedicado los esfuerzos de varios años a la búsqueda de información para proporcionar al estudioso una visión lo más completa posible de esta nueva disciplina artística. Durante algún tiempo, sus conocimientos, y parte del contenido de este texto, han sido el vehículo para la formación de compositores y maestros que están ahora en plena actividad.

Con estas experiencias y conscientes de nuestro deber, esperamos que éste, y los libros que están a punto de aparecer, contribuyan a nuestra superación cultural y sean de la utilidad que nos proponemos.

Manuel Enríquez
Director del CENIDIM

INTRODUCCION

El lugar actual de la música.

La historia nos muestra que el artista creador ha hecho uso a través de sus diferentes épocas, de todos los medios a su alcance para expresar sus urgencias estéticas y es sólo natural que en la época presente utilice la electrónica para realizar estos fines. Esta idea que para mí representa un axioma, será el motivo conductor del desarrollo de estos escritos.

La electrónica como medio actual de expresión artística

La electrónica aplicada a la creación artística, aporta una fuente nueva de recursos que no podía pasar desapercibida para el artista contemporáneo que desde hace varias décadas se halla perplejo ante un callejón sin salida contemplando el agotamiento del material sonoro tradicional, en virtud de su explotación en todas las formas y niveles concebibles por artistas previos que, más afortunados que los de esta generación, hallaron aún elementos vírgenes para trabajar.

Agotamiento de los medios tradicionales

El maestro Hermann Scherchen declaraba en 1963 que "la creación musical basada en melodías y armonías modales estaba ya agotada y no se veía otra posible alternativa de composición, es por ello –decía– que la música es un arte muerto, en el mismo sentido que el latín es una lengua muerta". Este pesimismo podría considerarse extremo, pero el compositor que inicia una obra encuentra que las formas, ideas, timbres, ritmos, armonías... han sido expresados ya por otros artistas en otras épocas y que para la música actual están reservados los calificativos de decadente, impopular, agresiva. El público no gusta de la música nueva y a muchos compositores modernos ya no les importa el público. "Estoy convencido –opina Schönberg– que el verdadero compositor escribe música por la única razón que le complace hacerlo. Quienes llevan al público en su pensamiento no son auténticos artistas y renunciarían a la composición si no encontrasen oyentes". Este es un fenómeno nuevo: compositores que crean música para sí mismos o para sus colegas con un menosprecio absoluto del público al que, por razón natural, se dirige la obra musical.

La reacción de los músicos profesionales

Menos radical pero también agresivo es Stravinsky, al considerar al público como "una abstracción que no posee gusto, el cual depende de la única persona que lo tiene (perdón, que debiera tenerlo), el director". Este desprecio simplemente está correspondido y la respuesta del público, agotado ya por las protestas tumultuosas, rechiflas, insultos y hasta golpes, se ha reducido a una indiferencia olímpica y a una ausencia habitual a las salas de conciertos de música nueva, que se acentúa cada día más. Las obras contemporáneas se oyen unas pocas veces y

Respuesta del público

desaparecen del repertorio y posiblemente la razón nos la da Leibowitz, cuando al salir en defensa del dodecafonismo, se expresó: "uno no debe esperar que la música proporcione placer, distracción o distensión". Aunque la música puede llegar a tener una fuerza avasalladora, esto es más bien en el sentido que un cerillo puede causar una conflagración, dada la oportunidad y los medios adecuados, usualmente este no es el caso y la música es una comunicación estética del compositor al auditor que, si hay identificación, se transforma en emoción. Ahora bien, si esa emoción se transforma en revolución, superación o sólo distracción, depende del momento histórico y del individuo, pero normalmente en la sala de conciertos ocurre el último caso... y sin embargo, y a pesar de todo, ¿qué compositor podría afirmar que no desea ser oído y que su máxima ilusión es escribir y archivar, porque el público no lo comprende?

Dificultad de comprensión de la música contemporánea

Por otro lado, la música actual se ha ido complicando cada vez más y si su lectura y ejecución resultan un verdadero jeroglífico para el profesional, ¿qué se puede decir para el oyente y el aficionado que desea tocar en casa? "Cada vez menos gente compra partituras, la lectura se ha vuelto muy difícil y desde 'Pelleas' uno se pregunta simplemente por qué los compositores escriben un material tan esotérico e ininteligible", opinó Honegger. Agréguense a esto las obras para instrumentos tradicionales "preparados", donde se usan en formas muy diferentes a su técnica, concepción original y perfeccionamiento de siglos que, para un oyente no "iniciado" puede representar un perfecto equívoco artístico. Al término de una obra para piano "preparado" y después de los acostumbrados ruidos, martillazos, rasguños, etc., mis hijos, en su primer concierto de música contemporánea, pensaron que, al voltear los intérpretes frente al público, era para pedir disculpas por que la reparación del piano se hubiese prolongado hasta la hora del concierto, pero que éste ya iba a comenzar. Su sorpresa fue mayúscula al empezar los aplausos y aun pensaron que era broma del público para divertirse mientras se iniciaba el concierto.

Música científica

Simultáneamente, otro factor ajeno al arte ha aparecido: la obra musical actual requiere para su comprensión de una larga y sesuda explicación técnica, dando como resultado que esta música se mueva en un ámbito extraño que no llega a tocar el recipiente espiritual del ser humano, sino que se pierde en consideraciones del todo extramusicales para ser "comprendida", y es que muchos compositores han confundido el arte con una disciplina intelectual, produciendo obras tan áridas para un melómano como pudiera serlo algún tratado científico.

Separación entre el artista y el científico

A este respecto, es positivamente curioso el constatar que la disputa secular entre científicos y artistas se ha invertido en los tiempos actuales. Desde la Grecia Magna, Aristóteles y Aristoxeno tomaban partido en pro de los artistas y de su derecho ineludible a la *aisthesis* o sentido de la percepción, en directa oposición al cálculo pitagórico. En otras épocas, Leibnitz definía el ejercicio de la música como una "matémática inconsciente del alma" y viene al caso la pugna entre Goethe y el teórico Zelter, nacida sobre la esencia de los tonos mayor y menor, que

desembocó en una discusión entre científicos y artistas sobre la posibilidad de derivar y justificar los fenómenos musicales a partir de datos físicos. Helmholtz y Stumpf intervinieron reforzando este "fisicismo" con sus estudios (admirables por lo demás y que dieron un tremendo avance a la acústica y al análisis musical y de los instrumentos) sobre el fenómeno sonoro en base a principios científicos: físicos, fisiológicos y sociológicos. Aún en vida de ellos, Riemann insistía (y participamos de su criterio), que el acontecer musical no puede ser objeto de una base científica, sino que contiene una lógica musical propia, *per se*, libre de las trabazones científico-naturales y perteneciendo exclusivamente a las ciencias del espíritu, o en otros términos, que la música no se oye fisiológicamente, sino mediante la "voluntad interpretativa" (Kurt). La práctica confirma este aserto y la concepción que un artista tiene del mundo y su expresión es enteramente diferente de la que pueda tener un técnico o un científico. ¿Por qué, pregunto yo, el artista de los tiempos modernos insiste en volver al cientificismo, las más de las veces mal comprendido por él mismo, y defiende con largas divagaciones seudocientíficas sus creaciones, pasándose así al bando de quienes en toda la historia fueron el blanco de los artistas por su incomprensión del proceso de creación estética?

Complejidad musical

Los compositores modernos tienden a asociar el progreso con la complejidad y aunque en los últimos tiempos ha habido una reacción en contra de ella –que por lo demás ha sido exagerada y ha producido obras positivamente infantiles y exóticas, emulando así a otras artes– ya no es posible ni aconsejable regresar a una música sencilla con los instrumentos tradicionales, a riesgo de repetir la historia. Yo recuerdo que el maestro Carrillo dejaba constancia orgullosa ante sus alumnos, de que sus partituras para violín solo, eran de las más difíciles de ejecución en el repertorio, también lo dicho por Schönberg respecto a su concierto para violín: "es sencillo de ejecutar, sólo requiere un violinista con seis dedos en la mano izquierda". Cabe meditar si se deseaban componer obras complejas como objetivo principal, o si la complejidad fue un mero accidente en la búsqueda de la belleza y sonoridad. En alguna ocasión se definió a la música como el compromiso perfecto entre el caos y la monotonía sonoras... ¿no se está cayendo en estos extremos en las obras contemporáneas?

El artista y la sociedad

Este es un esbozo muy somero del panorama actual de la música, aunque se podría continuar indefinidamente, que baste con esto y el recordar que acompañan a la música, en condiciones similares, las otras artes: pintura, escultura, literatura, danza... Me parece que el compositor y el artista en general, deben comprender que ellos son el medio de que dispone la sociedad en que viven, para poderse expresar musicalmente –artísticamente– y que tal expresión debe corresponder a la época y como resultado natural encontrar una respuesta positiva de sus integrantes; de otro modo, tendremos ante nosotros una sociedad sin expresión artística o un arte que no es representativo de su época. Creo que es tan sencillo como esto.

Los compositores deben decidirse, en entera libertad, a descubrir nuevas bellezas. La música no se detendrá en su evolución ni volverá atrás; el único camino está adelante, pero es requisito indispensable que haya honradez, capacidad y mucho trabajo. Todos los espectáculos en los que se ensayan ideas absurdas, bajo el nombre de "vanguardia musical", y en donde quedan confundidos el verdadero artista con el actor y el arte con la actuación, sólo hunden un poco más la reputación de la música contemporánea y el público, menospreciado tantas veces, ya identifica la igualdad: arte moderno=burla.

La eléctrónica aplicada al arte

La electrónica aplicada a la música es nueva y aún inexplotada en sus múltiples recursos, y aunque para sorpresa de muchos ya ha rebasado sus bodas de plata desde sus primeras intervenciones, actualmente la electrónica aplicada a la música en particular y al arte en general, podría ser el título de un libro que resultaría ya muy voluminoso, o bien de una exposición que llenaría varias salas con espectáculos que muy pocos de los artistas de nuestro medio se pueden imaginar y que ya existe y se presenta, aunque en forma dispersa e incoherente, en varios lugares de nuestro mundo.

El perfeccionamiento y miniaturización de la electrónica, ha permitido, por un lado, una gran densidad de circuitos en espacios reducidos, dando una gran potencialidad a los instrumentos para aplicaciones artísticas; y por el otro, un abaratamiento notable de estos recursos, dando como resultado una disponibilidad accesible a un mayor número de técnicos y artistas. La consecuencia lógica es que a un mayor interés y participación, deberá corresponder un avance más acelerado.

Retraso en el hallazgo de nuevas formas estéticas

En el aspecto artístico, sin embargo, el avance ha sido muy lento, ya que una cosa es el acceso a nuevos y mejores recursos y otra muy diferente el hallazgo de nuevas formas estéticas que correspondan a aquéllos. Siendo los Estados Unidos los que llevan la primacía en la concepción y fabricación de equipo electrónico aplicado a la música, debería ya haber surgido un empuje artístico proporcional, pero el arte creativo en ese país siempre ha estado muy abajo de su capacidad tecnológica. Quizá los "campus" incomparables de las universidades americanas no forman un ambiente propicio para el florecimiento de las artes, o probablemente la personalidad práctica y utilitarista del país y sus ciudadanos, tan profundamente enraizada, no da cabida al ocio griego y la contemplación creativa, y es que, en el arte más que en cualquier otra cosa, el *time is money* simplemente es la mayor mentira... aunque si se tiene (the money) siempre será posible importar artistas extranjeros que suplan la carencia nacional.*

*Y aun con esta impresionante importación de músicos extranjeros, sumada a los recursos increíbles y a la enorme población musical de ese país, después de unos dos siglos de vida musical no se puede aún hablar de una escuela musical norteamericana... ¿por qué? ¿será realmente que el consumismo embota la sensibilidad artística?

En una u otra forma, allí está la técnica a la disposición del artista creador y en abundancia suficiente para esta generación de artistas, aunque por el momento y como en toda nueva manifestación, la gestación y transición al nuevo arte están arrojando los dos extremos de la búsqueda en una proporción totalmente desbalanceada: unas pocas obras excepcionales que acusan ya madurez y expresividad y un mar de creaciones que no merecen este título, aberraciones, se les podría decir. Uno se pregunta sorprendido ¿cómo es posible que tales obras sean publicadas o presentadas al público sin ningún escrúpulo?

Es posible que en el fondo el artista piense –aunque no lo haga notar– que sólo se trata de ensayos, tal como me decía Ussachevsky en una conversación sobre la música electrónica: "nadie habla de obras maestras en este momento y apenas nos hallamos en la fase de búsqueda o experimentación con los nuevos medios de expresión", aunque yo tengo para mí, que esa búsqueda y experimentación han existido en toda la historia del arte, y que al ser realizadas con inspiración por un verdadero artista, producen precisamente lo que llamamos obra maestra. Por lo demás, son también estos hallazgos los que imprimen su sello característico al arte de una época y también la razón de la mutación permanente del arte musical.

Yo he seguido de cerca desde hace más de 25 años estos avances y manifestaciones, primero por un mero accidente que se transformó en curiosidad y que por fin se estabilizó en forma permanente como una especialidad. Esta experiencia previa me autoriza a señalar que la irrupción de la electrónica en la música es irreversible –aunque tenga sus altibajos naturales– y que finalmente se incorporará en forma permanente con una fuerza y expresividad que ya se comienzan a presentir.

Invasión electrónica en el ámbito musical

No todos los lectores, e incluyo en esta aseveración a muchos especialistas, están conscientes de que la producción de instrumentos musicales electrónicos de nueva concepción, o como imitación de los tradicionales; y de mecanismos que, aunque creados para otros fines se están aplicando a la creación artística, han invadido literalmente nuestro mundo actual. Esta invasión, sin embargo, ha tenido como campo de acción principal la grabación, reproducción, amplificación y "efectismo" de la música tradicional y esto ha resultado en una sobresaturación y un hartazgo inevitables, con las desviaciones y el menosprecio consiguientes; quizá no es sino el exceso resultante de tantos siglos en que la música fue para los privilegiados y tan solo en ocasiones especiales. En todo caso la culpa no ha sido ni de la música ni de la electrónica sino del hombre, que por un lado ha llevado estas posibilidades a un comercialismo ciertamente vandálico y por el otro, no ha sabido crear una música representativa de nuestra época, o mejor dicho: no la ha sabido crear con la misma rapidez con la que ha inventado nuevos aparatos. Esto es sencillamente natural y la electrónica se orienta ya a nuevos mecanismos, posibilidades y expresiones, que los artistas asimilan con rapidez y corresponden con creatividad y como en otros tiempos, la historia sólo nos pide paciencia para dar la bienvenida al arte de nuestro tiempo, que promete ser maravilloso si extrapolamos los indicios que existen en la actualidad.

PROLOGO

CONTENIDO E INTENCIONES DE LA OBRA

Organización del libro

Considero obligado que el lector conozca anticipadamente la organización de la obra y muchas de las razones para incluir los temas contenidos en ella.

Capítulo histórico

La iniciamos con un capítulo dedicado a la historia de la máquina en la música. Los objetivos de esta inclusión son varios:

1. Se aprenderá que la música producida por máquinas es una concepción y realización ya milenaria.
2. Descubriremos que muchas ideas y aparatos considerados hoy día como contemporáneos, han aparecido una y otra vez en el pasado con tecnología diferente. Su conocimiento preparará al estudiante para una mejor comprensión y dominio de la versión más avanzada.
3. El conocimiento y análisis histórico de la especialidad establecen un criterio y ubican al mismo tiempo al músico en la perspectiva adecuada de la música actual.

Apéndices

Este capítulo se cierra con dos apéndices: uno sobre la composición al azar o aleatoria, y el otro sobre la música futurista o de vanguardia, ambos de concepción ya antigua y también de gran moda en la actualidad.

Capítulo de acústica

El siguiente capítulo, número II, es un estudio rápido de los conceptos físicos, eléctricos y acústicos aplicados a la música y a los instrumentos, a la luz de las teorías más modernas. Se han omitido todo tratamiento matemático y formulismos, habida cuenta de que el libro es para músicos, y aunque la música junto con la astronomía, aritmética y geografía, formaban el cuadrivio (quadrivium) antiguo, el enorme desarrollo de todas ellas distan mucho de caber en un cerebro normal, y aun genial de nuestra época.

Por lo demás, la personalidad musical es reticente a la matemática y por ello el tratamiento lo hice puramente conceptual, más aún: fuertemente conceptual. Se analizan ideas instrumentales, estéticas y aun fisiológico-auditivas, destruyendo algunos conceptos erróneos pero sancionados por la costumbre y el tiempo; en fin, se actualiza al estudiante y se trata de hacer esto en los términos más simples y objetivos.

De cualquier modo, las matemáticas no pasan de ser simples herramientas para ayudar a manipular los conceptos y si estos no se comprenden con claridad, aquéllas no sirven para nada. Muchos artistas piensan que si no se saben matemáticas es imposible comprender la física, acústica y otras ciencias que las usan y esto es un gran error: se puede tener claro el concepto y no saber matemáticas y también se puede manipular matemáticamente el concepto sin comprenderlo con claridad y el artista debe ubicarse en la primera categoría.

Estudiamos el oído y la voz como medios para comprender físicamente tanto el receptor sonoro final como el emisor primario y natural, con los que todos, músicos o no, estamos familiarizados. Estos a su vez sirven como introducción para ver en forma genérica –y no específicamente– a las familias de instrumentos tradicionales.

Apéndices

Al final de este capítulo incluimos dos apéndices: uno sobre las oscilaciones en la naturaleza, donde el músico encontrará su ámbito de trabajo, dentro del mundo de las vibraciones. El otro versa sobre el color en la música, tema que surge una y otra vez en la historia y siempre es mal comprendido.

Capítulo sobre los primeros estudios electroacústicos

El capítulo III, sobre los laboratorios "clásicos" de música electroacústica, viene a ser una continuación del esbozo histórico, sólo que aquí se trata en un aspecto análitico y operativo, ya que mucho instrumental de esta época, debidamente modernizado, se sigue usando en la actualidad. Por lo demás, las obras realizadas en esos laboratorios pueden analizarse si se conoce el instrumental usado, siendo ésta la única forma de estudio para obras en las cuales no existen partituras y su forma final es la grabación magnética o copias de ella.

Apéndice

Al final de este capítulo también hemos incluido un apéndice, esta vez sobre el magnetófono, ya que este aparato fue el originador de la música electrónica y sigue siendo la columna vertebral y único recipiente de la producción electroacústica de nuestros días.

Capítulo sobre los sintetizadores controlados por voltaje

El capítulo IV, describe y estudia un laboratorio de música electrónica moderno, a base de sintetizadores controlados por voltaje. Para su mejor comprensión, se ha dividido el instrumental en familias, atendiendo a sus funciones operativas.

El sintetizador que se presenta es un aparato "ideal", concebido por el autor con propósito didáctico, su nombre es Omnifón (todos los sonidos) y cada módulo que lo forma tiene una sola función operativa. De esta manera, se va asimilando paso a paso la "filosofía" del sintetizador. Cuando el estudiante termine el capítulo estará capacitado para asimilar con facilidad los modelos comerciales con funciones múltiples en cada módulo. Al final se hace un alambrado rutinario, sólo para mostrar el procedimiento y sin mayor pretensión creativa.

Es pertinente advertir que no se llegará a un dominio de este instrumento si no se complementa con la experiencia práctica en el estudio, en la misma forma que un instrumento tampoco se llega a dominar estudiándolo en un libro.

Capítulo sobre computadoras

Las computadoras digitales son presentadas en el capítulo V mediante una descripción somera y una explicación de las varias formas de su utilización con fines musicales:

1. Como compositoras programadas
2. Como instrumentos musicales
3. Como control de los sintetizadores

El segundo caso se trata con mayor extensión y se presenta el programa prototipo para generar música, el "Music", pero no se da información suficiente como para entrar a una computadora y trabajar en ella, conformándonos con dejar claros los conceptos y técnicas usadas, lo que consideramos básico para comprender todo lo demás. Para el estudiante interesado en profundizar aún más, se dan directivas y contactos para que lo haga.

Nos extendemos también en los procesos de composición utilizando una pantalla de computadora, sistema que está marcando una tendencia en la actualidad.

Capítulo sobre arte electrónico

El capítulo final, número VI, presenta un panorama brevísimo y muy generalizado del arte electrónico en sus aplicaciones actuales más conocidas, algunas insólitas y no necesariamente musicales aunque sí en estrecha relación.

La intención es de poner al día al estudiante y darle un panorama más universal, y que al cerrar el libro, su conocimiento sobre las inquietudes artísticas multidisciplinarias que usan la electrónica como base, sea lo más completo posible.

Se ha procurado que cada capítulo lleve un resumen al principio, y cuando proceda, unas conclusiones al final, considerando que es didáctico llevar el objetivo mentalmente y concretarlo en pocas palabras al terminar.

Glosario técnico

Se incluye, asimismo, un pequeño glosario de las palabras técnicas utilizadas, para referencia rápida de alguna duda que pudiese surgir en el texto. El glosario mezcla palabras españolas y en otros idiomas, y abreviaturas que seguramente encontrará el estudiante en su vida profesional, por su amplísimo uso en el medio electroacústico.

Indice alfabético

El glosario aludido y además un amplio índice alfabético al final de la obra, pretenden configurarla a modo de que sirva también como un manual de consultas rápidas sobre el tema.

A lo largo del libro se hace un uso extenso de sinónimos, sobre todo, respecto a los términos usados por el músico y sus equivalentes usados por el ingeniero. El beneficio es obvio: el léxico se va uniformando y el músico se familiariza con la jerga ingenieril que en la música electroacústica se usa con preferencia a los términos musicales por su mayor precisión y porque algunos conceptos físicos no tienen nombre musical y se usan con frecuencia en la nueva música.

El estudiante irá notando a lo largo del texto, que el tratamiento de los temas es breve pero que los conceptos fundamentales se repiten varias veces bajo ángulos y enfoques diferentes, ya sea en el mismo capítulo o en otros. Considero que en esta forma se fijan mejor y en forma más segura los conocimientos que en la forma tradicional de tratar exhaustivamente un tema y, llegado el caso, o bien se considera que

el estudiante lo fijó a la perfección o se le envía de vuelta a ése único lugar de tratamiento. Por lo demás, estos escritos pretenden servir de texto para los cursos que sobre esta nueva especialidad necesita urgentemente el músico, y esta forma de tratamiento –conforme a mi experiencia– es superior a la tradicional.

Por todo lo expuesto anteriormente, el lector deducirá sin dificultad que estos escritos van dirigidos primariamente a los músicos pero también, aunque en forma secundaria, a los artistas de otras áreas.

Quiero terminar estas "intenciones" con una corta selección extraída del reporte de mis visitas a varios estudios de música electrónica, considerando que su contenido expresa claramente la forma de tratamiento que daré a los temas técnicos de este libro:

"En los estudios visitados, intencionalmente toqué el punto que considero clave en la situación actual de la música electrónica: el compositor que crea en esta especialidad, ¿debe ser un experto electrónico?, o en otras palabras, ¿el compositor debe ser una hibridación del músico y el ingeniero? La respuesta es inquietante, pues excepción hecha de una abstención, una mayoría del 70 por ciento considera que sí;pues bien, mi respuesta personal es ¡no!, el músico seguirá músico y el ingeniero seguirá ingeniero, y aunque en esta fase del desarrollo la hibridación ha sido una necesidad, esto es más bien circunstancial y transitorio; los sistemas que requieran gran preparación técnica para ser operados irán desapareciendo dejando por selección natural a los equipos sencillos configurados para músicos. Creo, sin embargo, que el músico deberá conocer mejor la materia prima con la que trabaja, para poder obtener mejor partido del equipo electrónico, es decir: la física y electroacústica musicales y desde luego, familiarizarse completamente con el equipo que utilizará para sus composiciones musicales".

El compositor-ingeniero

Esa es la pretensión de este libro, y no deseando ser malinterpretado, quiero insistir en que la música electrónica **no** representa un atajo o una simplificación en el difícil arte de la composición musical, cuando hablo de sencillez, me refiero al instrumental exclusivamente. Si el compositor que decide utilizar un sintetizador o una computadora, carece de la preparación y práctica suficientes, sea por falta de tiempo, de información adecuada o simplemente de interés en el aspecto teórico del equipo que va a utilizar, a modo de entrar al laboratorio a obtener "lo que se desea". Si en pocas palabras, no se tienen claros los elementos físicoacústicos que se están manipulando, el compositor quedará condenado a mover perillas, botones, palancas y alambres, produciendo algunos pocos y muy obvios sonidos en forma cuasi-aleatoria, que serán seleccionados en su limitación –eso sí– por su gusto artístico y preparación musicales, pero que distarán mucho de lo que podría haber significado una explotación experta y una realización plena de los recursos de estos maravillosos instrumentos contemporáneos.

El equipo moderno no simplifica la composición

Y es que el sintetizador y la computadora no son instrumentos tradicionales, con sus características sonoras fijas e inmutables y para los que conociendo el modo, limitaciones y costumbres de ejecución,

Nuevo equipo, nuevos conceptos

se puede componer una obra, aunque nunca se hayan tocado –labor que corresponde al instrumentista– ni se piense en tocarlos jamás.

El compositor en un ambiente electrónico, es creador y ejecutante a la vez y debe dominar el instrumento, pues la obra estará en proporción a su virtuosismo o a su ignorancia, y si desgraciadamente es el caso último, podrá concluir que los recursos del laboratorio son tan limitados como para haber sido agotados en el primero y último intento de composición, y que persistir hasta lograr una expresión nueva, artística y original, es sencillamente inútil.

CAPITULO I
ESBOZO HISTORICO
Presencia continua de la máquina en la música.

1. Resumen

En este capítulo se hará un recorrido veloz por la historia de los mecanismos inventados para la producción automática de la música, así como de la búsqueda de nuevos medios mecánicos de expresión musical y que en una u otra forma han dejado su huella en el presente.

Muchas ideas "modernas" son ya seculares

Nos daremos cuenta que muchas de las ideas consideradas modernas y revolucionarias son ya seculares, habiendo cambiado sólo los mecanismos que las realizan y el estilo o moda imperante. Que en todo momento histórico las técnicas del día se han aplicado a la producción de la música y lo que es más importante: han recibido el apoyo, el interés y la participación de los artistas más notables de la época y que, finalmente, el sintetizador y la computadora musicales no son sino las prolongaciones históricas, lógicas y obligadas, en la historia de la música.

En los apéndices conoceremos la aplicación de los juegos de azar a la composición musical y se sabrá del "futurismo", como doctrina que rompió la tradición artística, proclamando nuevos principios y objetivos musicales.

2. *Homo mecanicus*

La máquina es imprescindible en la actualidad

Las máquinas son maravillosas, es difícil no amarlas y desde luego imposible vivir ya sin ellas. Se podría dedicar todo el resto del libro, a renglón seguido, a enumerar todas las labores que realizan para nosotros: son nuestras antenas y sensores para todo aquello que no percibimos directamente por nuestras limitaciones fisiológicas. El universo y nuestro medio circundante lo conocemos cada vez más gracias a ellas. Son esclavas fieles al alcance de nuestras manos o a millones de kilómetros de distancia... claro que también fallan y se enferman, pero en una proporción ínfima respecto al ser humano y su diagnóstico siempre es sencillo y lógico pues no tienen subconsciente. Los resultados erróneos de una máquina son en su gran mayoría el efecto de una imprevisión, de un cálculo o de una consideración erróneas, de un reflejo demasiado lento o de un complejo recóndito que afloró inoportunamente. Después de 25 años de trabajar en el área de computadoras digitales, he terminado diciendo una y otra vez: la computadora no se equivoca, ¡revise usted los datos o la lógica de su programa!

Las máquinas sólo cumplen su deber: no se distraen, no conversan inútilmente, no se enamoran ni se casan, no tienen problemas morales que las distraigan, no engañan, ni roban ni toman desquite cuando se les opera mal, no se ausentan ni renuncian, excepto por el retiro obligado... y lo más maravilloso: muestran una resistencia consistente a humanizarse, aunque muchos artistas, por amor a ellas así lo desearían y hayan románticamente imaginado y plasmado con arte esta humanización imposible.

En estos finales del siglo XX, donde hay ya robots que hablan y se comportan mejor que los humanos, es más frecuente ver a estos últimos imitando a los robots, que lo inverso.

El Homo Sapiens se transforma en Homo Mecanicus

Los microcircuitos, la retropropulsión, los plásticos... para no nombrar sino algunos de los inventos principales, al ser aplicados a la creación de máquinas, han revolucionado con sus logros maravillosos al mundo actual a tal grado que se puede considerar que el *homo sapiens,* se transforma vertiginosamente en *homo mecanicus.*

Si un hombre de hace 2000 años presenciara nuestro mundo presente, no hallaría al humano actual muy diferente de los de su época, ...quizá moral y espiritualmente más deteriorado. Sin embargo algo llamaría extraordinariamente su atención: el avance tecnológico y las maravillosas máquinas en uso hasta en el hogar más humilde. Concluiría inevitablemente que el tiempo había dado a la humanidad sólo máquinas y no otra cosa (y que conste que no apareció la palabra progreso).

3. El control mecánico y sus instrumentos

Máquinas musicales milenarias

Pero las máquinas no son invención de este siglo ni de los anteriores, y las maravillas mecánicas que causan estupefacción, han existido y la han causado en toda la historia. Yo me atrevo a decir que la inquietud mecánica nació con el hombre, que al observarse a sí mismo, ha deseado crear mecanismos similares para emular, en la medida de sus recursos, a su creador. Hace más de mil años que los inventores han estado ocupados materializando máquinas musicales, y tan lejos como el siglo IX, se consigna que Leo el filósofo hizo dos autómatas que incluían pájaros que cantaban melodiosamente al emperador de Bizancio.

Sin temor a exagerar, se podía afirmar que la mayoría de los instrumentos musicales de todo tipo que existen en el presente, son enteramente o incluyen mecanismos, que son legado de épocas remotas.

Relojes públicos con carillón automático

Excepción hecha del órgano hidráulico, que veremos más adelante dentro de su familia específica, el primer instrumento mecánico musical, fue propiamente el reloj público con sonería musical para marcar las horas, haciendo uso del carillón o juego de campanas afinadas para producir melodías. El primero de que se tiene noticia data del año 996, pero no se conserva información detallada. De 1487 data el carillón mecánico de Alost (Aalst) y poco después, en 1532 se estrena el de Brujas, ciudad famosa por sus carillones y carilloneros... (y de infame traducción, porque Brugge en flamenco es puente).

Los mecanismos automáticos de los carillones se desconectan, en términos generales, para operar el carillón en forma manual, por medio de palancas y pedales, como se observa en la figura.

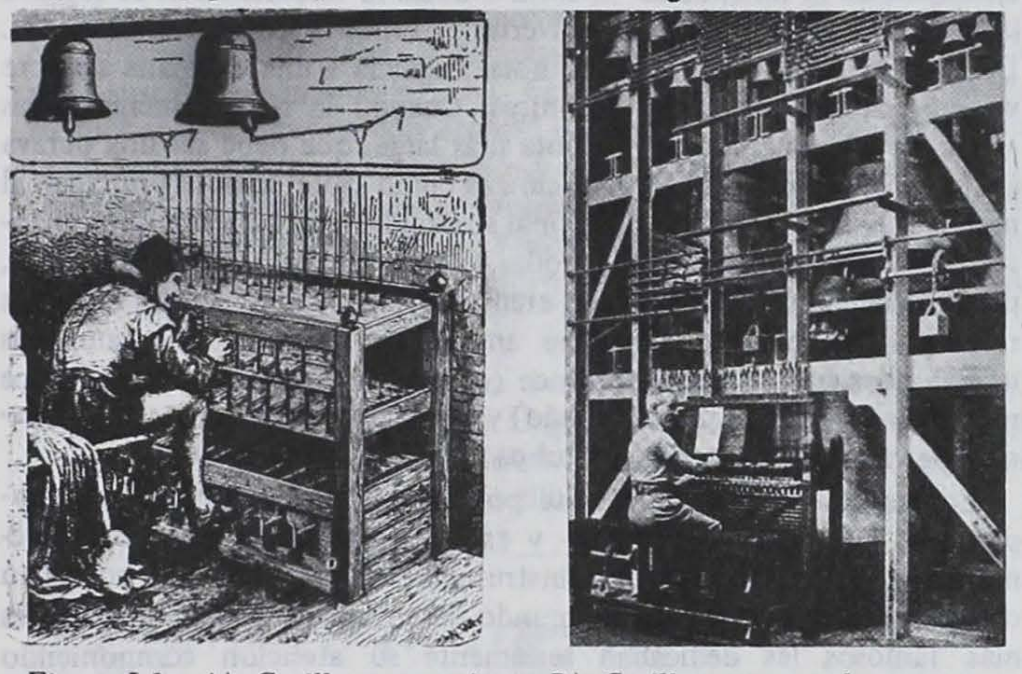


Figura I.1 A): Carillonero antiguo. B): Carillonero actual.

En la ciudad de Gante asistí a un recital de carillón donde durante más de una hora se interpretaron obras originales y adaptaciones para el instrumento, algunas de un virtuosismo real. Este tipo de conciertos "públicos" es frecuente, principalmente en Bélgica y Holanda, y abarca una buena cantidad de oyentes, hasta una distancia de algunos kilómetros alrededor de la torre.

En el interior, la música es potente y emocionante, las vibraciones de las campanas se sienten en todo el organismo y vibra uno con ellas. Los mecanismos manuales no han cambiado por siglos, y observando las figuras se puede uno percatar de las dificultades del instrumento, sobre todo si se piensa en que se incluyen en los programas arreglos de obras que incluyen pasajes rápidos y hasta fugas y que la energía para mover los badajos es enteramente manual. Al finalizar estos conciertos, se reconecta el automático del carillón, a su operación por cilindros y clavijas, para la música que se produce en las horas del reloj de la torre.

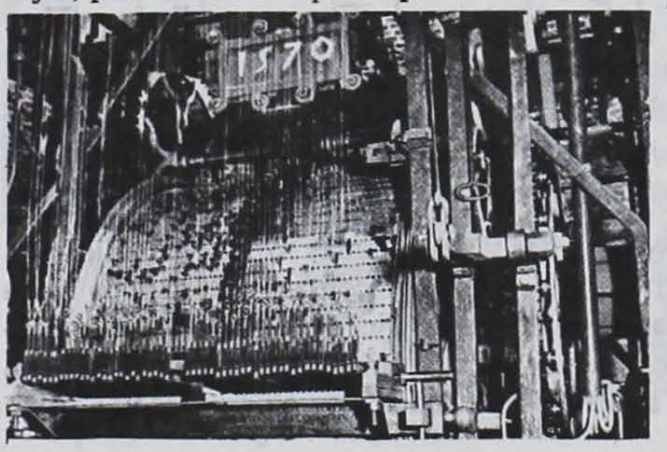


Figura I.2
Mecanismo automático de un carillón (Delft, Holanda).

Afinación de las campanas

Las campanas para los carillones, cuando se usaban como instrumento musical correctamente afinadas, eran de las más difíciles de fabricar, y en ocasiones ni limándolas ni torneándolas ni taladrándolas se lograba la nota deseada y había que volverlas a fundir y comenzar de nuevo. De paso es bueno saber que la nota asignada a una campana siempre va acompañada de varias armónicas. Cuando la nota principal y las armónicas decaen, persiste la nota más larga, que debe ser una octava abajo de la nota inicial. La afinación es como sigue: la nota principal, al menos tres armónicas y la nota final sostenida. Con el tiempo, los mejores fundidores podían calcular todas estas notas con bastante precisión, pero inicialmente los carillones eran muy costosos y sólo las ciudades ricas podían tenerlos. Conviene anotar también, que las campanas usadas no siempre eran de bronce (cuya aleación óptima era de trece partes de cobre y cuatro de estaño) y también se fabricaban de porcelana y de vidrio, y más tarde con tubos metálicos, simplemente.

Música para las multitudes

Los carillones eran enormente populares –el que los ha oído comprenderá que justificadamente– y es así, como hasta antes del advenimiento del radio eran los instrumentos musicales que contaban con el mayor auditorio en el mundo de entonces, y los compositores más famosos les dedicaban seriamente su atención componiendo música especialmente concebida y estructurada para ellos. En la corte de Anhalt-Coethen, Bach escribió varias piezas para el carillón del príncipe.

Mecanismo de cilindro y pernos

Para el funcionamiento del carillón, y durante muchos siglos, se utilizó el mecanismo de clavijas o pernos introducidos en los cilindros giratorios, similar al de las cajas de música, pero con la diferencia de que el sonido, cuando se aplicaba a tubos resonantes o flautas, podía ser prolongado a voluntad con el uso de clavijas corridas.

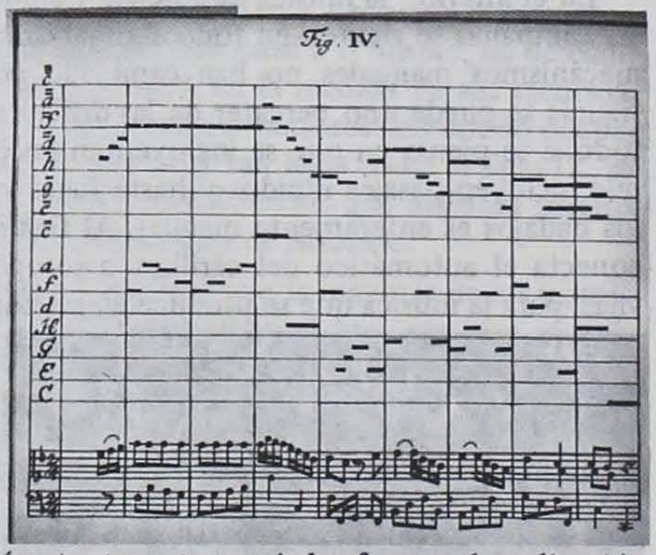


Figura I.3
Partitura para enclavijar un cilindro y su equivalente en la notació normal en pentagrama.

Este mecanismo se llevó a tantas y tan variadas formas de aplicación que literalmente se convirtió en el cerebro y control universal de todas las aplicaciones mecánicas de esas épocas, y es que además era un control sencillo y muy efectivo, y se podía "programar" la música y cambiarla a voluntad cuantas veces se deseara, leyendo directamente de una partitura musical.

Su limitación era la repetición inevitable, pero combinando diferencias de diámetro, velocidad y posiciones de cilindro y clavijas, se realizaban piezas tan complicadas y largas como se deseara. Los primeros cilindros eran totalmente de madera, pero a partir del siglo XVIII se combinaron con metales, y las clavijas se reemplazaron por puentes metálicos de variadas longitudes. Los cilindros de las cajas de música se hicieron de bronce con clavijas de acero. Las clavijas controlaban también los registros de los órganos y se logró tal perfección que muchos preferían "la asistencia de un órgano mecánico a los dedos del mejor organista" (Mason, catedral de York). Cuando el instrumento incluía figuras humanas móviles, sus movimientos también eran controlados por el cilindro.

Grabadora musical mecánica

Con el tiempo se logró tener varias piezas en un mismo cilindro, y por el año de 1752, el inventor Unger presentó un instrumento de teclado para grabar las improvisaciones musicales, produciendo una partitura o patrón para enclavijar los cilindros.

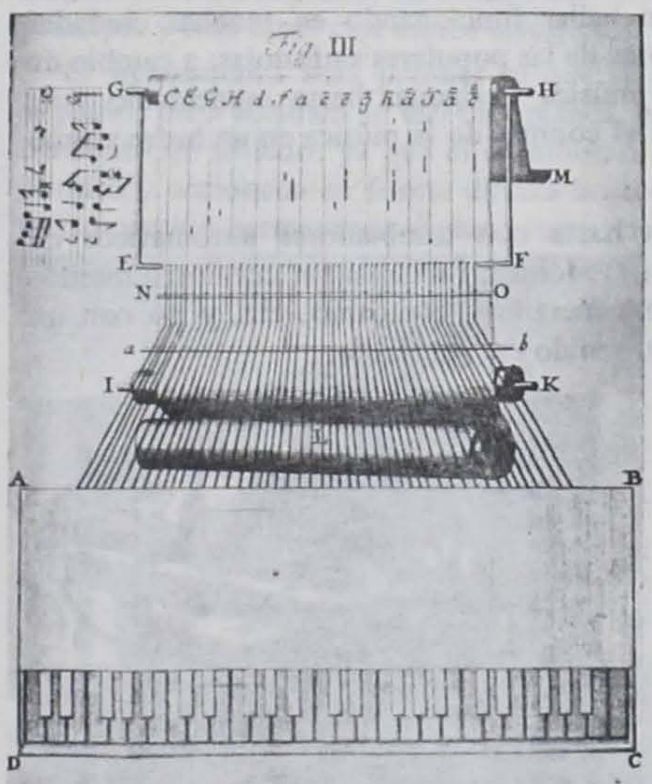


Figura I.4
Mecanismo de Unger para el enclavijado.

El cilindro y los pernos, que por sí solos rebasan ya un milenio de vida en mecanismos musicales, que aún a la fecha se admiran por su ingenio y arte, poco a poco se fueron sustituyendo por sistemas más sencillos, sobre todo para la "programación" de la obra. Primero se evolucionó a una plancha de madera (Debain, 1846), luego a cartón duro (Corteuil, 1852) y de aquí, en un paso sencillo, al cartón perforado, que originalmente movía palancas, como el "Cartonium" de Testé, en forma tan efectiva que llegó a controlar a casi todos los instrumentos mecánicos de la época y tan simple de programar y controlar, que mucho tiempo después de que los mecanismos neumáticos invadieran el panorama, siguió en producción y uso.

El Polifón: precursor de la sinfonola

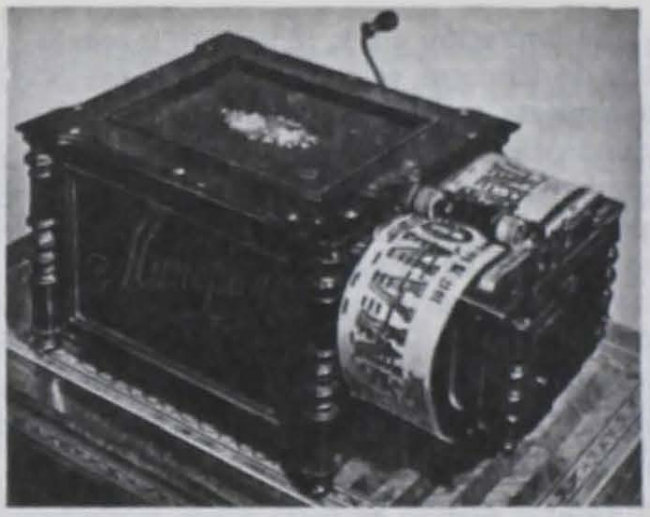


Figura I.5
Cartonium aplicado al Manopan.

El punto culminante, antes de los mecanismos neumáticos accionados por rollos de papel perforado, lo representa el Polifón (Poliphon), donde discos y bandas metálicas aún mueven palancas. Estos aparatos, cuya construcción se prolongó hasta principios de este siglo, aún hoy en día se pueden hallar funcionando en muchas ciudades europeas y son los precursores de las populares sinfonolas: a cambio de una moneda proporcionan música y algunas hasta espectáculo pues tienen muñecos que danzan al compás de la música en un breve asomo al pasado.

Estas máquinas existían hasta con cambiadores automáticos de discos, y a diferencia de los modernos, funcionaban con instrumentos verdaderos: flautas, marimbas metálicas, campanas, etc. y no con un cono de cartón, por lo que su sonido era excelente.

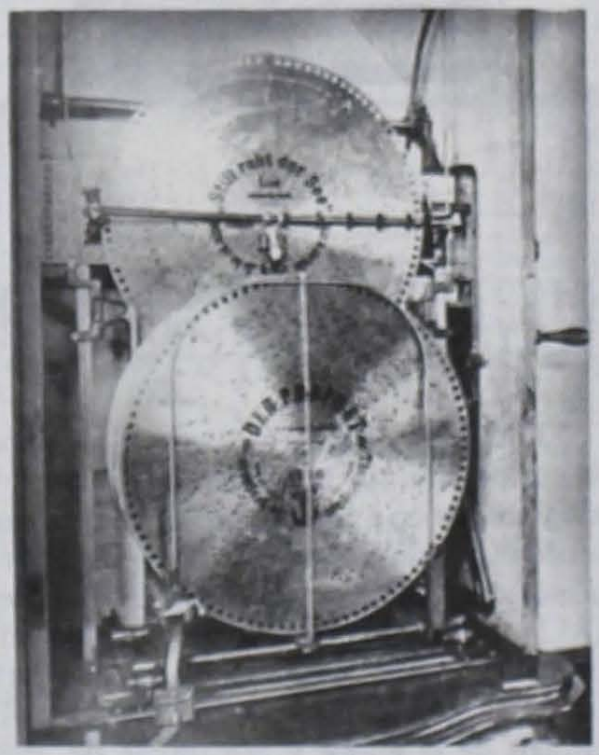


Figura I.6 Polifón con cambiador automático de discos.

Papel perforado y sistema neumático

Con la llegada del papel perforado y el sistema neumático, todos estos mecanismos pasaron rápidamente a segundo término. El primero en usar satisfactoriamente el nuevo sistema fue Carpentier, quien con una serie de aparatos para la feria internacional de 1880, acaparó la atención de los asistentes. Para el año de 1887, presentaba ante la Academia Francesa el "melógrafo" y el "melótropo", que eran versiones mejoradas en las que ya existía la posibilidad de grabar y reproducir en los instrumentos de teclado. En el año de 1897, Votey en los Estados Unidos patentaba las mejoras finales de la Pianola, aunque versiones más sencillas, se fabricaban ya en serie por la compañía angloamericana Aeolian. El sistema es bien conocido pues no está aún muy lejos de nosotros: el rollo de papel perforado pasa frente a un semicilindro con perforaciones del mismo tamaño de las del rollo de papel y donde una bomba de vacío succiona el aire, el que pasará sólo cuando exista perforación en el papel. El aire succionado que pasó por los hoyos del papel acciona los martinetes del piano. La bomba de vacío se accionó con pedales al principio y más tarde con motor eléctrico.

El instrumento más popular al que se aplicó este mecanismo fue al piano, pero también se uso en órganos, armonios y todo tipo de instrumento de teclado, ya que el mecanismo se vendía por separado, era portátil y accionaba en forma directa las teclas de los instrumentos. Su incorporación permanente al piano fue posterior.

Figura I.7
Mecanismo portátil para tocar automáticamente instrumentos de teclado. Aplicado aquí a un piano.

Fuerza motriz en los instrumentos mecánicos

Hemos dado algunas zancadas demasiado grandes en la historia y a este paso, en unas páginas más el libro llegaría a su fin; sin embargo, antes de retomar el hilo cronológico, deseo anotar que como fuerza motriz, además de las manos y los pies, se usaron el agua y la arena en los mecanismos más antiguos, después pesas y resortes y en un caso Kircher en 1650, hace alusión a un mecanismo movido por la energía solar, calentando aire en una cámara hermética que impulsa agua y ésta de nuevo aire, la estatua se mueve y toca la flauta al mismo tiempo que el pájaro silba.

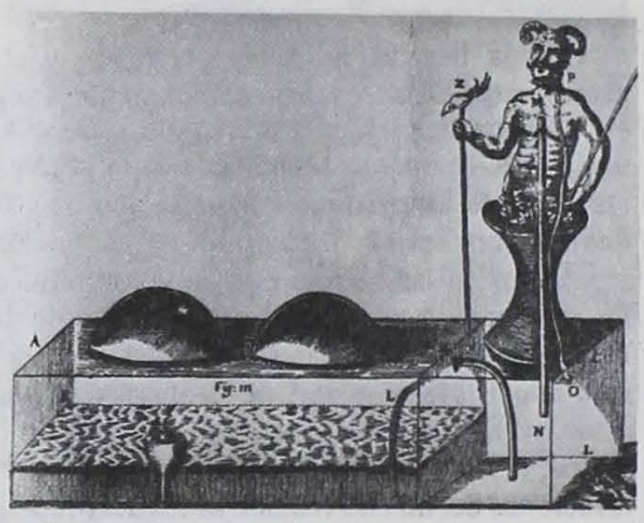


Figura I.8
Mecanismo musical movido por energía solar.

El tratamiento lo desarrollaremos por familias de instrumentos, así pues, volvamos al mecanismo de cilindro y clavijas. En los aparatos descritos con anterioridad, las clavijas movían palancas que accionaban directamente las campanas del carillón o bien las válvulas para el paso del aire en los órganos de tubo.

Las cajas de música

Antes del fonógrafo de Edison y mucho tiempo después, las cajas de música fueron la única forma de musicalizar mecánicamente el hogar. Su automatismo fue una aplicación más del cilindro, ahora minúsculo y accionando directamente las barras metálicas, arregladas en forma de peine afinado en la escala musical y amplificado por la resonancia de una caja generalmente de madera. Puede decirse que su apogeo fue de un siglo en números redondos, de 1810 a 1910. Los primeros fabricantes fueron los relojeros suizos y franceses a fines del siglo XVIII y venían en relojes de bolsillo. Su enorme desarrollo posterior puso música a todo tipo de enseres domésticos, algo así como una "música ambiental", según el terminajo moderno: tabaqueras, joyeros, licoreras, polveras, en fin, todos los objetos en los que aún hoy en día se incluyen estos mecanismos. Tanta popularidad gozaron que los compositores componían música en el registro agudo de los instrumentos o mediante

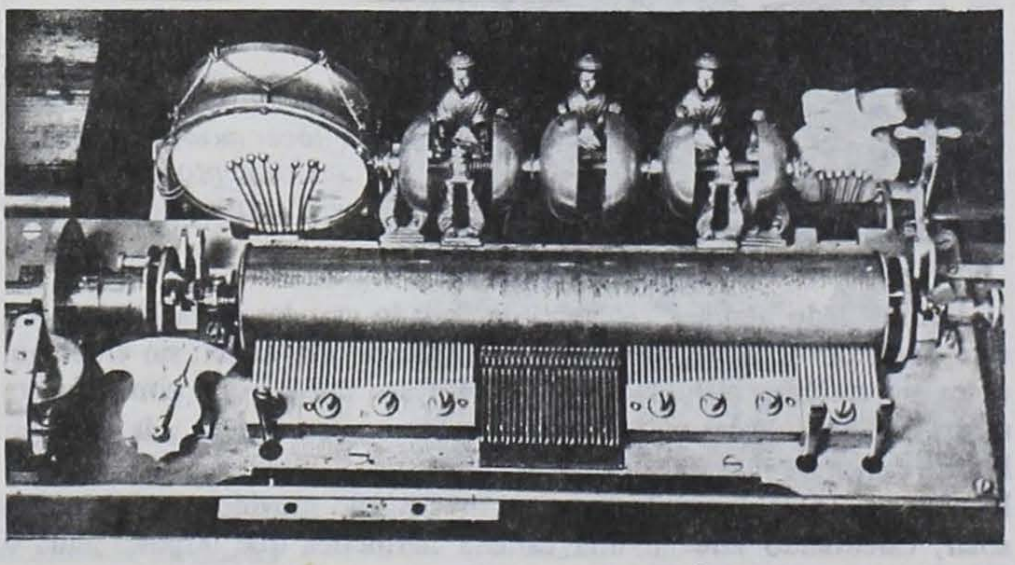


Figura I.9 Caja de música con efectos de mandolina y cítara.

las armónicas en los instrumentos de cuerda pulsados, "al estilo de caja de música". Sin embargo, los resonadores se introdujeron hasta 1830 y diez años después los había con forte-piano, mediante dos peines de tamaño distinto y con resonancia aplicada al mayor. También aparecieron efectos múltiples: mandolina (repiqueteando la misma nota), piccolo, arpa, cítara, etc. pero esto sólo en los aparatos más finos, en los que era posible intercambiar los cilindros y además tener cilindros con varias melodías –hasta 8– en cada cilindro.

La lengüeta metálica vibrante

Otro mecanismo que se popularizó considerablemente a fines del siglo XVIII, fue la lengüeta metálica, que se mueve libre en una abertura de su mismo tamaño, y no del tipo del clarinete y fagot que ya existían mucho tiempo antes. Esta lengüeta, al aplicarse a instrumentos mecánicos, produjo toda una familia de aplicaciones.

El Belloneon data de 1805 y fue hecho por la familia Kaufmann, de enorme tradición mecánico-musical, y alcanzó una gran perfección y pureza sonoras. Se cuenta que Napoleón, tras la batalla de Jena, se ubicó en el castillo de Charlottenburg y descansaba en absoluto silencio cuando de improviso la paz fue rota por trompetas prusianas. Pensando que este representaba un ataque por sorpresa de los enemigos, Napoleón dio la alarma general... sólo para darse cuenta más tarde, que el pánico general había sido causado por un Belloneon que estaba en la sala del palacio, hecho especialmente por Kaufmann para el rey de Prusia y que tocaba todas las marchas militares de la caballería prusiana, y que un oficial lo había puesto en marcha accidentalmente y no pudo detenerlo.

La lengüeta fue popular por la facilidad de su fabricación, su bajo precio y la sencillez de los mecanismos para sonorizarla.

A fines del siglo XIX, se hacían en Francia armonios automáticos similares a los pianos de cilindro llamados *organettos*; su apariencia era muy similar a los gramófonos antiguos, pero sin la bocina que usualmente los acompañaba. Tocaban valses, polcas y otros bailables y se vendían bajo varios nombres: Intona, Aristón, Manopan (Ver figura I.5), etcétera.

Figura I.10
Un modelo del instrumento "Intona".

Poco a poco, también los órganos cambiaron sus tubos por lengüetas y surgió otra aplicación: los acordeones automáticos, donde sólo manualmente se daba el aire y toda la música estaba programada en una cinta de papel.

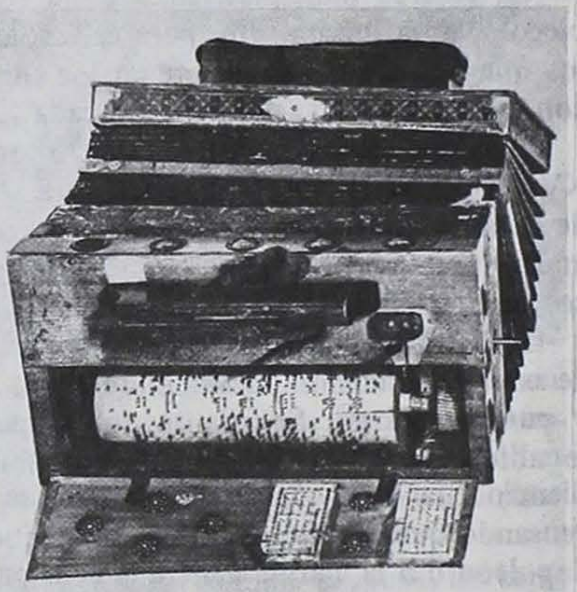


Figura I.11
Un modelo de acordeón automático.

La familia de los órganos

El órgano hidráulico (Hidraulikon en griego, Hidraulus en latín) es más antiguo que el cristianismo, pues desde dos y medio siglos antes de Cristo, existen referencias de él. Herón de Alejandría atribuye su invención a Ctesibius, hacia el 246 A.C. De hecho, el órgano primitivo era un tocador de flautas como nuestros armonios actuales, con la diferencia de que la presión del aire se obtenía mediante el agua accionando varios mecanismos. Nerón era un notable hidrorganista, si se me permite el título.

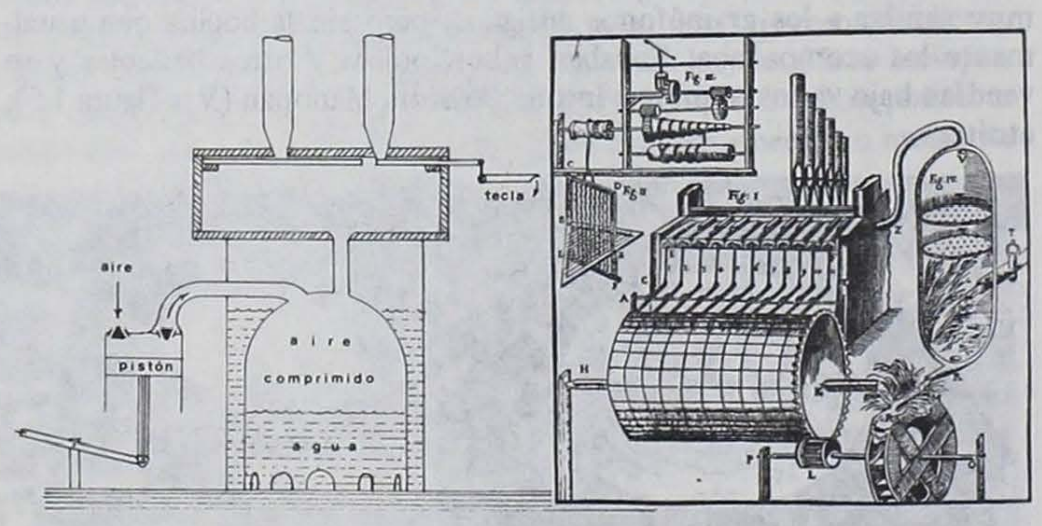


Figura I.12 El órgano hidráulico de la antigüedad (Ctesibius) y uno automático (Kircher).

Es interesante anotar como era el órgano de una catedral en el siglo X, según una descripción precisa de la época: "tiene dos manuales (para dos organistas), cada manual con 20 notas y a cada nota corresponden

diez tubos de metal. Las veinte teclas son anchas y cada una requiere la presión del puño completo para poder abrir la válvula". En otros tipos, en lugar de teclas había una corredera o cursor, para dirigir el aire a los tubos (las lengüetas se usaron hasta el siglo XV) y de este modo producir los sonidos.

Naturalmente, la música de la época no requería gran velocidad de interpretación... o quizá no se hacía más veloz por la dificultad de los instrumentos para interpretarla.

Organos mecánicos

El órgano, desde su inicio, estuvo sujeto a un mayor grado de mecanización que ningún otro instrumento musical, y es lógico si se piensa que las teclas en sí, son simples palancas que accionan a los mecanismos productores del sonido. El ejemplar más antiguo existente a la fecha es el de 1502, de Salzburgo. En su cilindro están programadas hasta 9 piezas en total. Muy restaurado actualmente, aún puede tocar en sus 350 tubos las 9 piezas, ahora de Mozart, Haydn.

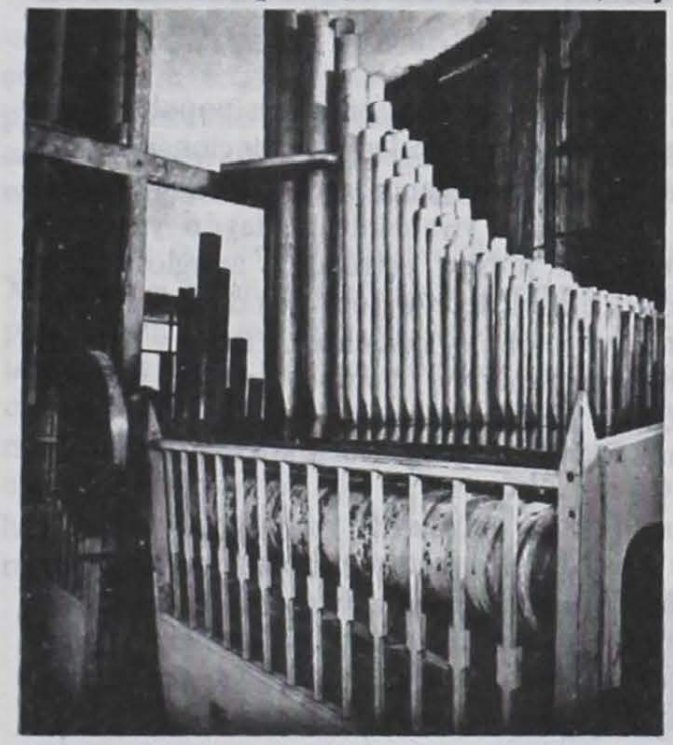


Figura I.13
El órgano mecánico de Salzburgo.

Del siglo XVI datan órganos mecánicos que aún a la fecha causarían admiración, uno de ellos: órgano y carillón de 16 campanas, operado por teclado o por mecanismo automático de relojería, "tocaba una canción a 4 partes, al terminar, los personajes del segundo piso tocaban una fanfarria con trompetas de plata; enseguida la música volvía, ahora con una canción a 5 partes, y al final, los pájaros de la parte superior del órgano (que tenía 6 metros de alto) cantaban y agitaban las alas". Muchos otros movimientos y sonidos eran posibles en este órgano mecanico, similar a un reloj astronómico de aquella época, estos últimos se pueden admirar en el presente en algunas catedrales europeas. Debe anotarse que por su similitud de mecanismos, la relojería y los instrumentos mecánicos, incluyendo a los carillones, siempre marcharon unidos en la historia.

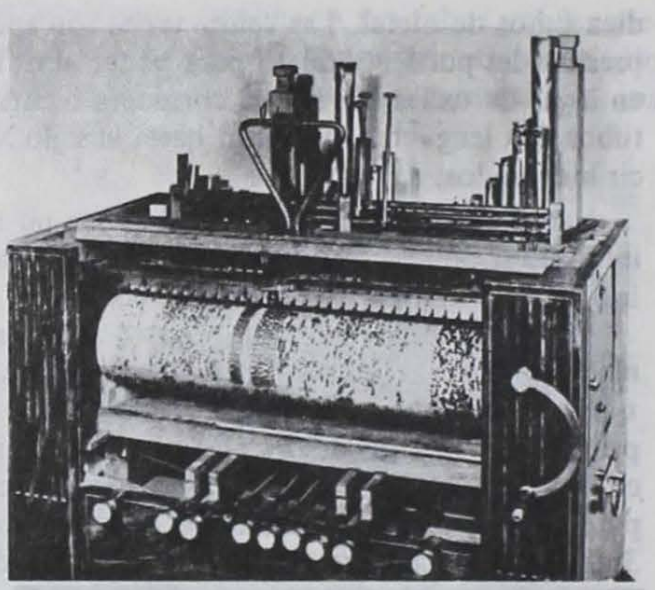


Figura I.14
Organo mecánico con percusiones.

Interés de los músicos en los intrumentos mecánicos

Por el siglo XVIII, los órganos mecánicos eran tan populares que todos los tratadistas de instrumentos musicales los mencionan en una u otra forma. Un siglo más tarde, los órganos mecánicos sin ninguna innovación revolucionaria interesarían vivamente a Haydn y Mozart (entre otros), quienes componen música original o arreglos de su propia música para aquéllos. La lista de compositores de música para instrumentos mecánicos incluye cronológicamente a Bach y Handel, después a Beethoven, Schubert, Salieri y Cherubini, y más recientemente a Debussy, Elgar, Grieg, Stravinsky y otros menos conocidos, lo que demuestra el vivo interés con que se han recibido, entre profesionales de la música.

Proliferación de instrumentos musicales mecánicos

Ciertamente, el hombre ha dedicado mucho ingenio y creatividad a la concepción y construcción de instrumentos mecánicos a lo largo de la historia. La gran mayoría de ellos no alcanzaron popularidad y algunos no fueron conocidos sino en un círculo reducido, pero dieron inspiración para continuar adelante y mantener el interés vivo. Sería prolijo enumerar todo este caudal de curiosidades y baste tener en la mente que toda esta profusión existió, pero sólo pocos de ellos se hicieron populares y que de éstos, todavía veremos aquí unos seleccionados, aún a riesgo de causar la falsa impresión de que la evolución fue a brincos, cuando en la realidad fue suave y lenta, iluminada de vez en cuando por un destello genial de algún verdadero artista con inspiración genuina.

Música para el hogar

Con el fin del renacimiento, los órganos se popularizan en muebles menos elegantes y más grandes, con cilindros intercambiables y de precio más accesible para el uso hogareño. Los mecanismos, más reducidos ahora, hallan su camino en la relojería y se aplican a instrumentos para ser usados como "música de fondo", como se diría actualmente, en escritorios, mesas de té, sillones, pinturas, ruecas, libros y aún en las carrozas, para musicalizar el transporte (Kutznetsov y Dubasnikov, 1785-1801).

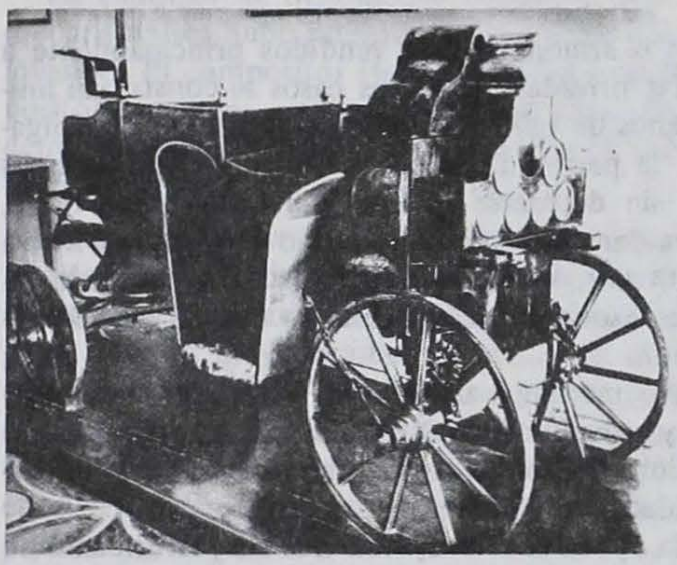


Figura I.15
Carroza con órgano mecánico.

La especialización comenzó a realizarse: los órganos de cilindro, con su tamaño impresionante y potente volumen, estaban siempre presentes cuando se trataba de espectáculos o conciertos masivos, en contraposición con los organillos y cajas de música de tamaño y volumen reducidos, sólo para uso hogareño.

Los órganos canarieros

Una de las formas más populares y originales de los siglos XVIII y XIX, fue el órgano canariero o "serinero" (serinette, en francés), usado para enseñar a cantar a los canarios. El mecanismo del cilindro abría las válvulas para dar aire a pequeñas flautas que imitaban el canto del canario. El fuelle para dar el aire se movía a mano, con una pequeña manivela; se popularizaron tanto que en francés *seriner* significa enseñar a cantar a los canarios con el "serinette". Estos órganos minúsculos eran hechos por los mismos fabricantes de los órganos de tubos grandes por razón de su gran volumen de ventas.

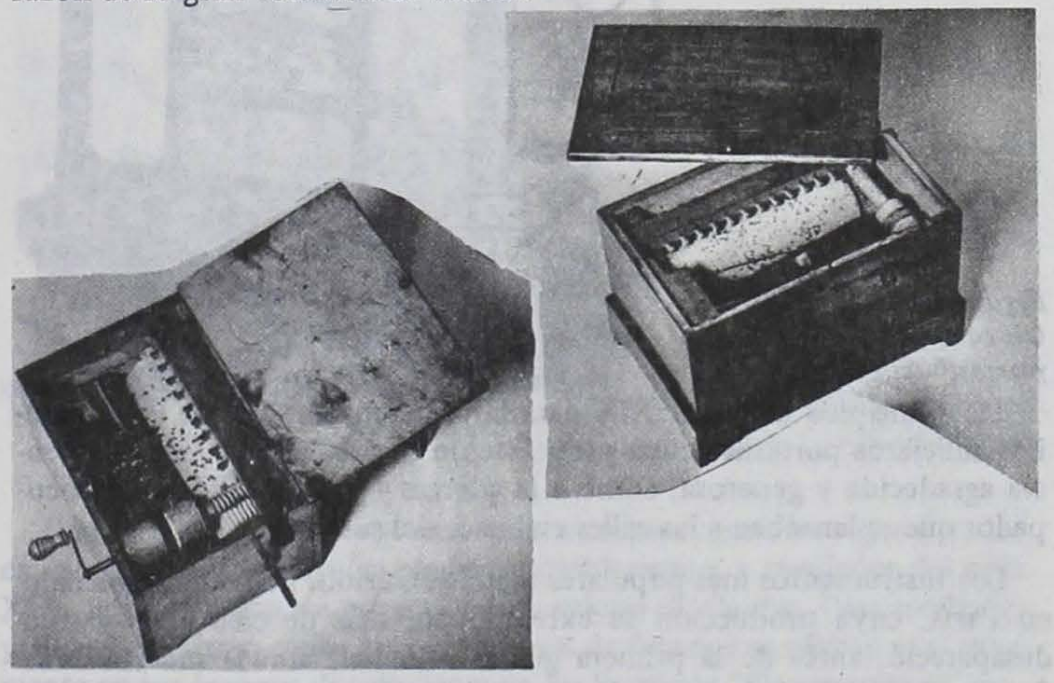


Figura I.16 Dos órganos canarieros, para enseñar a cantar a los pájaros.

Los órganos menores o armonios, eran vendidos principalmente a iglesias sencillas y capillas privadas, en cuyos casos se construían imitando a los grandes órganos de tubo... y además, no necesitaban organista. Se cuenta que en la parroquia de Gloucestershire, uno de estos órganos siguió tocando sin detenerse al final del himno. Los fieles, resignados, volvieron a cantar de nuevo, pero como el órgano de nueva cuenta siguió por tercera vez, no hubo más remedio que sacarlo en hombros al atrio, donde se quedó tocando mucho tiempo después de marcharse la congregación.

El apogeo del principio mecánico de cilindro y clavijas, se alcanzó a fines del siglo XVIII y principios del XIX, cuando un gran número de inventores en toda Europa, trabajando con ahínco, elevó a un verdadero arte esta especialidad.

Dos obras claves de la época contribuyeron a la mayor difusión de estos mecanismos, una del monje Engramelle (1755), *"La tonotechnie ou l'art de noter les cylindres"* y la otra, del monje Bedos (1766), *"L'art du facteur d'orgues"*, donde se trata extensamente sobre la construcción, posibilidades y programaciones del cilindro y clavijas, para todo tipo de órganos mecánicos. El órgano mecánico que alcanzó mayor perfección y complejidad fue quizá el "Apollonicon" en Inglaterra, (país devoto a los órganos mecánicos) y que se exhibió de 1817 hasta 1840 en Londres, y atrajo grandes multitudes a sus conciertos, en los que alternaba la parte mecánica, mediante el uso de tres complejos cilindros programados con cambios múltiples, con la parte manual mediante la intervención de hasta 6 organistas en seis diferentes consolas.

El apollonicon

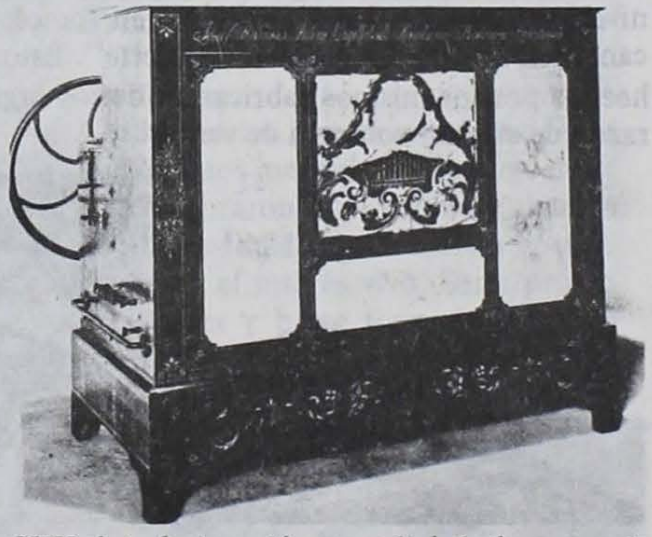


Figura I.17
Un organillo portátil callejero.

Organillos callejeros

De principios del siglo XIX data la invasión mundial de los organillos callejeros portátiles cuya proliferación se debió tanto a una audiencia agradecida y generosa, como a la guerras y a sus inválidos y desocupados que se lanzaban a las calles en busca del sustento.

Los instrumentos más populares eran los Gavioli, italiano establecido en París, cuya producción se extendió por más de cien años y sólo desapareció, antes de la primera guerra mundial, con la muerte de la familia de su fundador. Este hueco sería tomado por Alemania y después por Bohemia.

La cantidad de organilleros callejeros llegó a ser tan grande que en muchos países hubo intentos de limitación y aún de prohibición de esta invasión. El compositor Halévy salió en su defensa invitando a los compositores a crear música de calidad para ellos... al menos la historia demostró que la popularidad de Verdi es debida más a ellos que a la Scala de Milán.

Relojes musicales

Deseo intercalar aquí –cronológicamente le corresponde– a los relojes musicales de flauta, nombre dado a pequeños mecanismos de relojería que a intervalos regulares tocaban melodías en tubos de órgano. Fueron muy populares a mediados del siglo XVIII en adelante, pero eran caros y sólo aristócratas y ricos burgueses los podían adquirir. Tocaban arreglos de la música en boga y también música compuesta para ellos en especial. Eran verdaderas obras de arte y regalo para reyes, en cuyos palacios aún se conservan. Federico el Grande reunió a los joyeros y relojeros de Ginebra y Neuchatel, y en Berlín en el año de 1760 se inició formalmente su manufactura, que pronto adquirió fama en toda Europa. Como es sabido, K. P. E. Bach era el músico de la corte de tal monarca y compuso varias piezas comisionado por él. Más tarde, Haydn también componía para estos relojes, como obsequio al príncipe Esterhazy, alrededor de 30 composiciones de estilos diferentes.

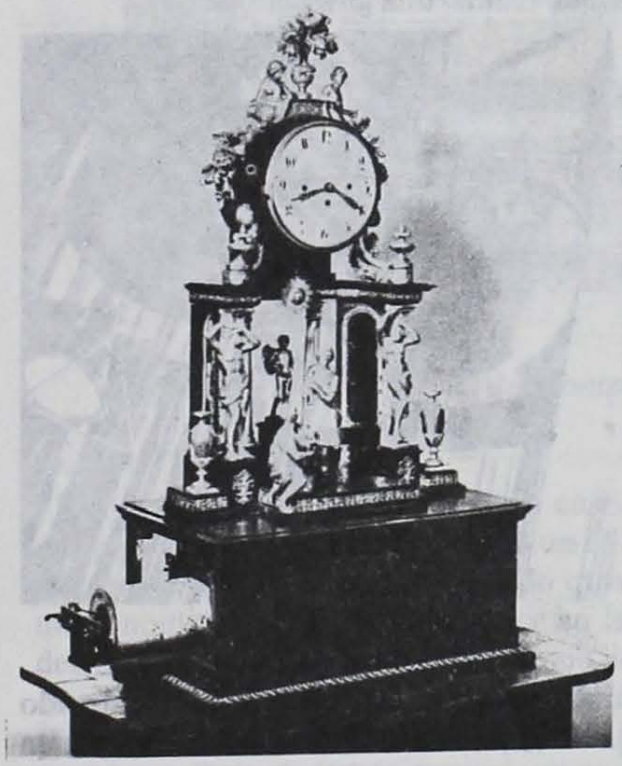


Figura I.18
Reloj de flautas del siglo XIX.

Con la llegada de los movimientos mecánicos para las cajas de música, populares y confiables, decayó notablemente, a mediados del siglo XIX, la fabricación de estos notables relojes de flautas. Para mediados y fines del mismo siglo, los mecanismos de órganos se usaban exclusivamente en los órganos de cilindro y en los llamados "Orquestriones".

Los orquestriones

Los notables avances en los mecanismos de los órganos mecánicos a fines del siglo XVIII y comienzos del XIX; los cambios en el gusto musical, que exigía mayor sonoridad y mejor calidad musical de los instrumentos y por último, los descubrimientos acústicos musicales, llevaron a los inventores a crear nuevos instrumentos mecánicos que pretendían contener la sonoridad de una orquesta completa (debe recordarse, sin embargo, que la orquesta de entonces era pequeña y menor que la mitad de la actual). Uno de los primeros intentos fue la "orquesta mecánica" de Strasser (1790), que tocaba piezas completas de Haydn, Mozart... Entre los mejores fabricantes estuvieron los hermanos Mälzel y su obra más acabada fue el Panharmonicon, que imitaba no sólo los instrumentos de aliento , sino también las cuerdas en toda su sonoridad y texturas dinámicas. Mälzel deseaba una composición para su excelente instrumento y su amigo Beethoven, ya famoso, accedió a realizar "La batalla de Vittoria", conmemorando el triunfo de Wellington sobre Napoleón (su antiguo ídolo al que dedicara su tercera sinfonía). De paso, anotamos que Mälzel le construyó a Beethoven trompetas para ayudarle a su sordera y además, se le atribuye erróneamente la invención del metrónomo cuyo verdadero inventor fue Winkel, que veremos adelante. Los triunfos de Mälzel como constructor de instrumentos mecánicos fueron notables, no sólo en Europa sino también en los Estados Unidos, donde realizó una gira exitosa.

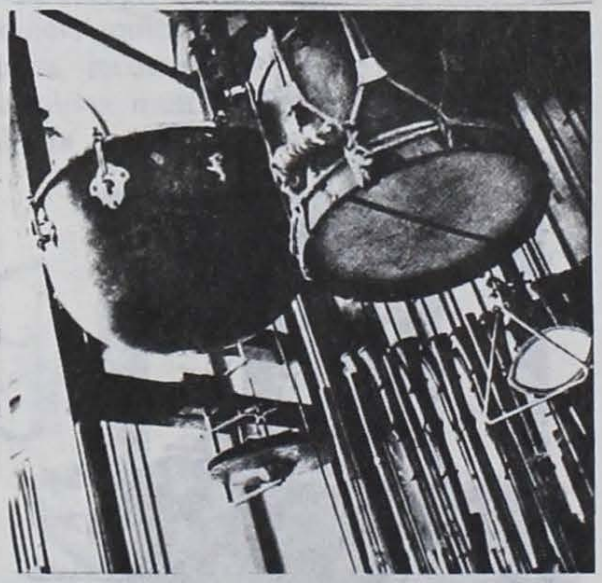


Figura I.19
Vista parcial del Panharmonicon de Mälzel.

El Componium

Uno de los instrumentos más ingeniosos que se hayan construído jamás fue el "Componium" (1821), del holandés Winkel. Consistía en dos partes: un mecanismo para componer automáticamente y un orquestrión que tocaba simultáneamente lo compuesto. Tenía siete cilindros y realizaba combinaciones y variaciones sobre un tema que se le proporcionaba. Winkel aplicó los principios de una máquina para tejer dibujos sobre tela, que él mismo había inventado años antes. Las variaciones no se repetían nunca y duraban aproximadamente 5 minutos cada una (en un cálculo se estimó que la máquina comenzaría a repetirse después de 138 trillones de años).

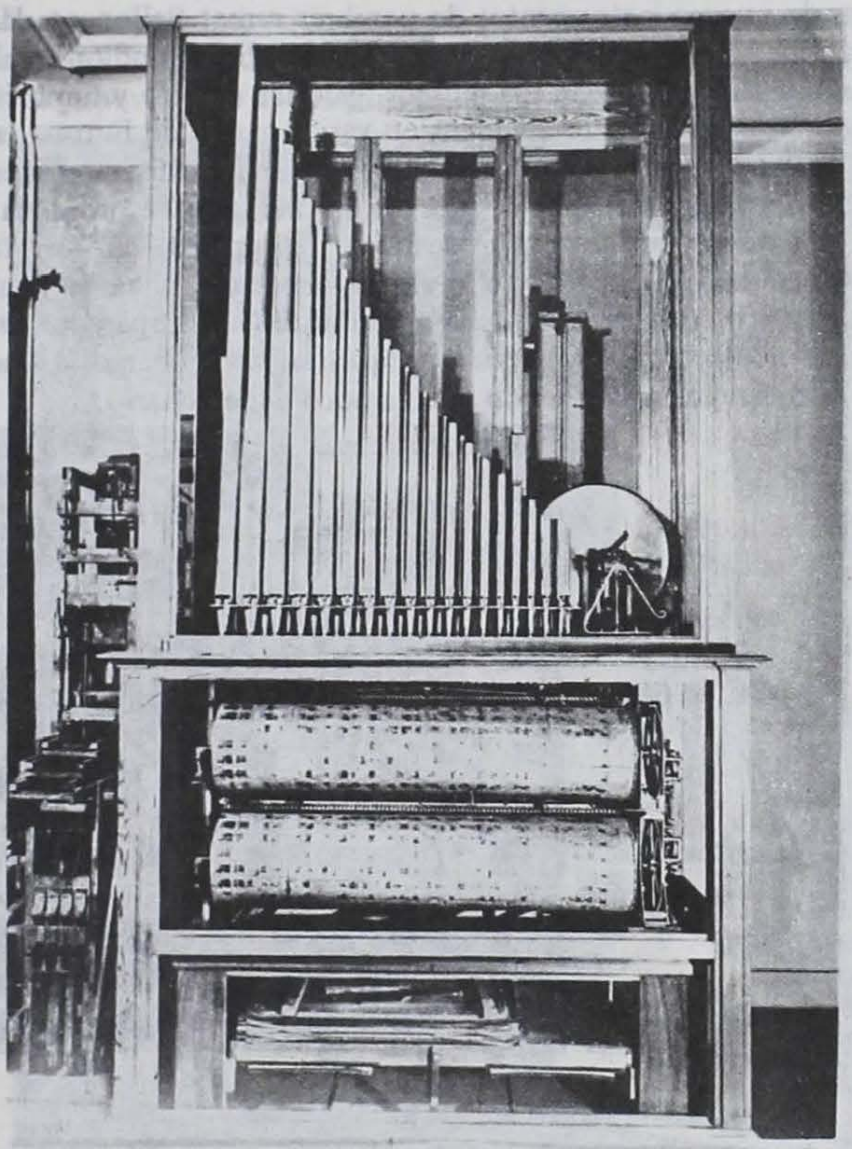


Figura I.20 Vista parcial del Componium de Winkel.

El instrumento causó sensación en Europa, se exhibió en las ciudades principales pero no representó un éxito financiero para el autor y ni siquiera se sabe que haya construido otros. Winkel es el inventor real del metrónomo tal como se le conoce en la actualidad. Hubo uno previo, debido al francés Loulié, en 1696, que nunca se popularizó, pues medía dos metros de alto y era más parecido a un gran reloj. Cuando Mälzel estuvo en Amsterdam exhibiendo su Panharmonicon, Winkel le confió sus ideas sobre el metrónomo y a su regreso, Mälzel lo construyó y comercializó significando un éxito financiero para él a tal grado que se le consideró siempre el inventor. Winkel murió en Amsterdam en 1826, pobre y desilusionado.

El metrónomo

La familia Kaufmann, que por varias generaciones fueron buenos acústicos y excelentes fabricantes de instrumentos musicales, fundaron una fábrica especializada en la producción de instrumentos mecánicos exclusivamente, de muy buena calidad y una técnica irreprochable.

Orquestriones

Decenas de nuevos instrumentos de nombres raros: Belloneon, Harmonichord, Chordaulodion, Synphonium, Orchestrion, Aulodion... salieron a la venta y aún existen en los museos, galerías de arte y también funcionando en cafés, y sitios públicos en varias partes de Europa, a cambio de una moneda. El mejor logro de esta familia, fue un orquestrión resultado de 5 años de trabajos (1851). Tocaba música sinfónica completa, con todas sus voces orquestales: trompetas, cornos, fagots, cuerdas (los "arcos" eran ruedas giratorias con brea), alientos, timbales, triángulo... la moda de los orquestriones invadió a Europa y los Estados Unidos, donde se fundaron varias compañías, sin embargo, a fines del siglo XIX fueron desapareciendo poco a poco del escenario.

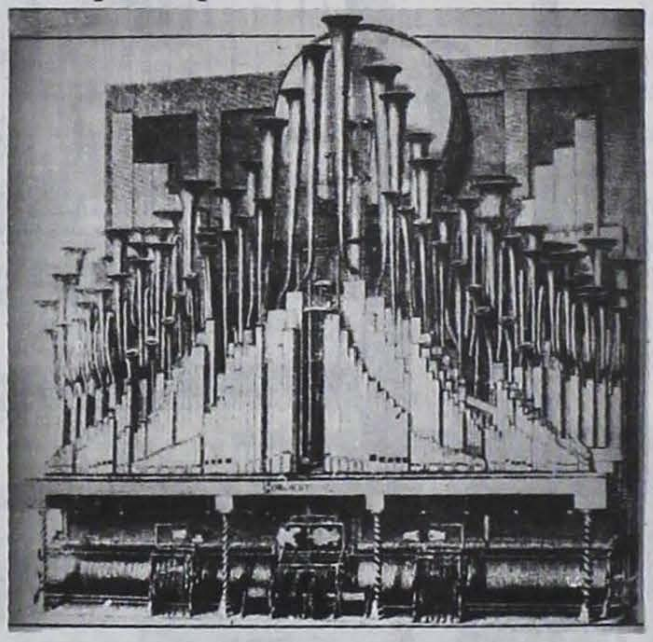


Figura I.21
Un Orquestrión, este modelo, construido por la casa Welte.

Mejoras a los instrumentos tradicionales

Debe hacerse notar que los descubrimientos y avances en esta área mejoraron no solamente el nivel de los instrumentos mecánicos que se construían sino también y como consecuencia, a muchos de los instrumentos musicales tradicionales, ya que en su mayoría los fabricantes de ambos eran los mismos. Estos intensos estudios dieron una perfección a los instrumentos tradicionales que aún persiste a la fecha y es difícil encontrar mejoras hechas después de estas épocas.

Los androides musicales

Veremos ahora una aplicación especial de los mecanismos automáticos: la creación de robots, o sea imitaciones de figuras humanas, más adecuadamente llamados androides, pues robot, del checo "robota": tarea, no se empleó sino hasta 1920, en una obra teatral de Karel Capek y no es ciertamente apropiado. Los androides tocaban realmente sus instrumentos y además imitaban los movimientos humanos. Se construyeron realizando todo tipo de actividades, pero aquí sólo incluiremos los relacionados con la música.

Androides de Vaucanson

Los primeros androides cuya fecha es segura fueron los de Vaucanson, matemático y mecánico francés. En el año de 1738 exhibió tres androides en París: un flautista, un pastor con flauta y tambor y al centro un pato que graznaba, comía y evacuaba los granos comidos.

Los flautistas realmente tocaban ante los incrédulos ojos de los espectadores, cuya admiración persistió por décadas después de la muerte de Vaucanson. Cada uno de los flautistas tocaba 20 piezas y realmente soplaban y movían los dedos para dar las notas instrumentales.

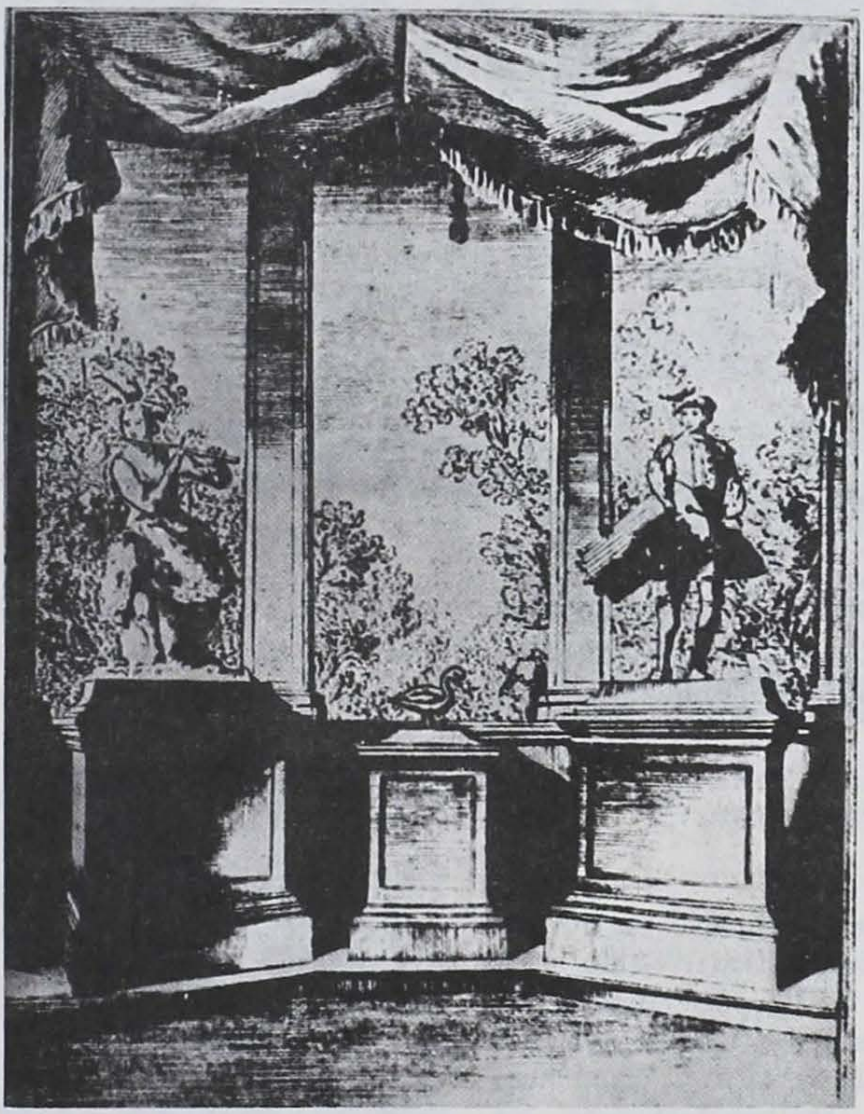


Figura I.22 Los androides de Vaucanson.

Androides de Droz

Por el año 1774 los suizos Droz, padre e hijo, presentaron en París una clavecinista con un buen repertorio de piezas musicales. Respiraba pausadamente, seguía con los ojos y cabeza la partitura y al final de la ejecución agradecía con varias caravanas frente al público sus aplausos, bajando la vista apenada. Ya famosos los Droz, fueron invitados por el rey de España en 1788, pero al presentar sus androides en Madrid fueron acusados de brujería por la inquisición y casi les cuesta la vida (¡España!).

Los Droz realizaron multitud de androides, no todos musicales, uno de ellos, era una niña que escribía realmente una carta de 50 palabras, llamada "el escritor", pero no siendo musicales no nos extenderemos más. El museo de Neuchatel guarda aún varios de ellos y consta en la historia que nunca nadie logró tal éxito y admiración como Vaucanson y los Droz.

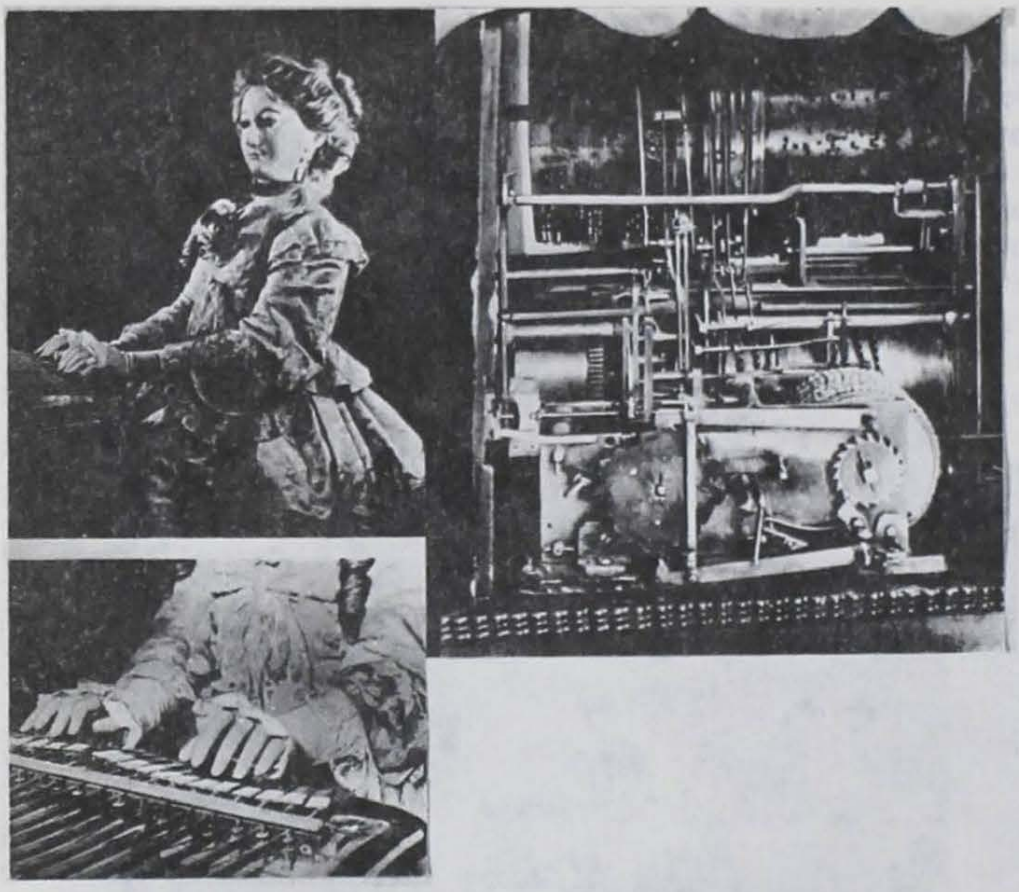


Figura I.23 La clavecinista de Droz, siglo XVIII y un detalle del mecanismo interior.

Trompetista de Mälzel

Mälzel construyó un trompetista automático vestido a la usanza de la época como clarín imperial y se cuenta que este androide le salvó la vida, pues siendo antirrevolucionario en 1848, los contrarios rodearon su casa y, viéndose perdido, puso en la ventana a su androide con su uniforme imperial y tocando su corneta hizo retirarse a los revolucionarios pensando que el clarín ponía en alerta al resto del batallón imperial.

Figura I.24
El trompetista de Mälzel.

Violinista de Mareppe

En 1838, Mareppe exhibió en París un violinista solista que ejecutaba piezas clásicas "a la Paganini", con acompañamiento de orquesta y con un grado de rapidez y limpieza asombrosos... "el autómata tocó una fantasía sobre la cuarta cuerda, incluyendo armónicas dobles y sencillas, arpegios en las cuatro cuerdas y un movimiento *prestissimo* en tres partes", el que cita esto, un tal Bruyere, confiesa haber llorado de emoción "al igual que la mayoría de la audiencia" y hace mención a Paganini y a Ole Bull (famoso violinista noruego de la época), concluyendo que superaba a todo lo oído hasta la fecha... el lector está en libertad de asignar el grado de exageración a la descripción anterior, pero deberá admitir sin embargo que se había alcanzado un grado excepcional de perfección técnica. Sin embargo, y dado el año de su presentación, en este caso particular, aunque el violinista hacía todos los movimientos necesarios para la producción de las notas, es de suponerse que tenía un violín interior con dedos y arco mecánico (ruedas giratorias) que en realidad tocaban las piezas, puesto que los instrumentos de arco se mecanizaron en fecha muy posterior por las dificultades inherentes a su ejecución.

La citarista de Nixon

Ya en nuestro siglo y haciendo uso de la electricidad, tras de 12 años de trabajo Nixon, en los Estados Unidos, construyó una citarista que toca realmente piezas en su instrumento y que, inclusive, siente la temperatura y si excede los 80 grados fahrenheit se retira el velo de la cara con la mano y si desciende de nuevo, lo repone a su lugar original.

Figura I.25
La citarista de Nixon.

4. El control neumático y sus instrumentos

Pianolas

Con la muerte de Enrique VIII de Inglaterra, se conoció una finísima colección de instrumentos musicales, entre los que estaba un virginal automático de principios del año 1500. Esta podría ser la primera pianola de la historia, a lo menos respecto a su concepción ya que operaba mediante el principio de cilindros y clavijas. El instrumento es insólito para la época y no se ha podido determinar si es un caso aislado o representa una tendencia que se extinguió.

De hecho, hasta fines del siglo XVIII no vuelven a aparecer tendencias de mecanizar, desde luego con el sistema de cilindro y pernos, al pianoforte y dado que los resultados no fueron enteramente satisfactorios, no se popularizaron y los intentos se frustraron.

Fue realmente la banda perforada del piano eléctrico de la familia Kaufmann la que dio el impulso inicial que, aunado a los sistemas neumáticos (patente de Estados Unidos en 1860), hicieron a la pianola el instrumento mecánico más popular de la historia. Al principio los mecanismos eran independientes del piano y se podían quitar y poner sobre el teclado. Posteriormente se incorporaron en un solo mecanismo.

Las pianolas más perfeccionadas fueron sin duda las Duo-Art, hechas por la compañía Aeolian y la Welte-Mignon, hecha por Welte e hijos, así como la Phonola de Hupfeld y la Pleyela de la casa Pleyel, francesa.

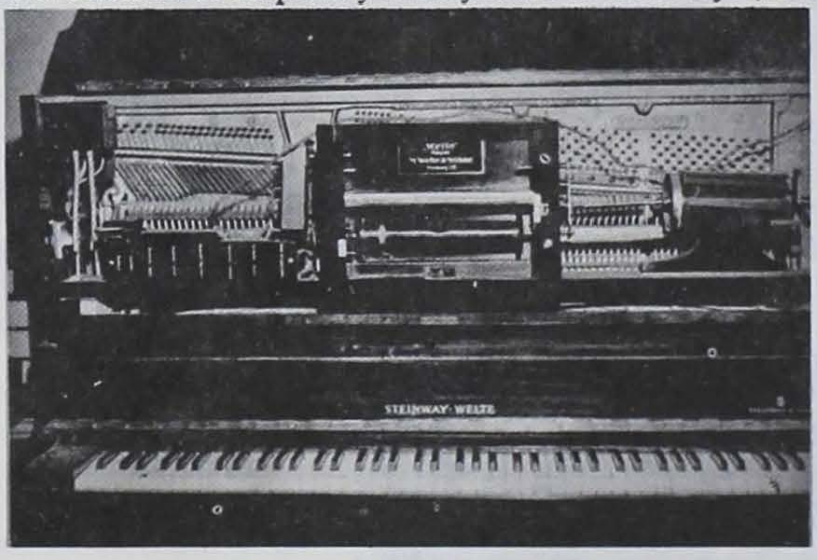


Figura I.26 Pianola Welte-Mignon (ver figura I.7).

Después de la segunda guerra mundial, Aeolian trató de renovar la moda de las pianolas pero sin ningún éxito, deteniéndose la fabricación en 1951, debido principalmente a la popularización de las máquinas electrónicas de reproducción musical. En los últimos momentos, antes de ser desplazada definitivamente, hubo una reacción, demasiado tardía, de considerar a la pianola como un nuevo instrumento en sí mismo, capaz de tocar obras imposibles para uno y aún varios pianistas, en lo tocante a acordes, velocidad, matices, etc., pero a pesar de todo, la decadencia no se pudo evitar.

De la popularidad que gozó la pianola, habla la cifra del año 1920, en que de 364,000 pianos fabricados en los Estados Unidos, el 70 por ciento fueron pianolas.

Mecanización de los violines

Para finalizar con la mecanización de los instrumentos tradicionales nos referiremos a los instrumentos de arco, que como ya dijimos fueron los últimos en trabajar mecánicamente.

Después del violinista de Mareppe, no fue sino hasta 1908 que se construyó el primer violín mecánico, llamado "Virtuosa", en los Esta-

dos Unidos. Era un violín ordinario, los "dedos" eran metálicos y accionados por electricidad, el arco era un volante fuera del violín, y dependiendo de la inclinación de este último frotaba ciertas cuerdas. La figura da una idea bastante precisa del sistema. El programa o partitura, era un rollo de papel similar al de la pianola.

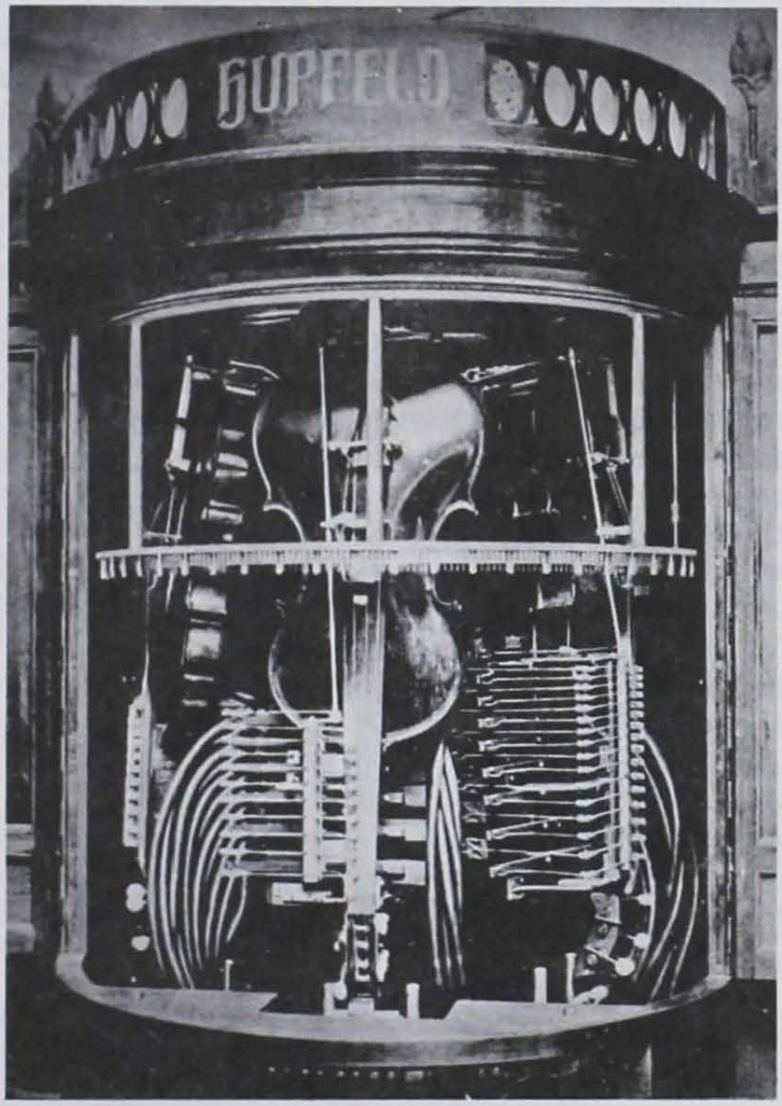


Figura I.27 La Violina de Hupfeld.

En 1911, la "Violina" de Stransky apareció en Viena, formando dúo con una pianola. El gabinete del violín contenía en realidad tres violines y como en el Hupfeld, también el arco era un volante giratorio con las cerdas en el interior, tocándose en cada violín a los sumo dos cuerdas simultáneamente. Por el año 1920 Aubry y Boreau presentaron al público su "violiniste", enteramente neumático y con mecanismos perfeccionados sobre los descritos anteriormente... pero siempre cometiendo el mismo error de considerar tan solo la imitación de la ejecución humana y así pianos, violines, órganos (a los que también se mecanizó con el rollo de papel perforado), fueron cediendo el paso hasta su completa desaparición, a los nuevos favoritos: el fonógrafo y el radio principalmente.

Los nuevos mecanismos eran una solución novedosa y diferente, aunque –hasta la fecha– no enteramente satisfactoria ya que no son en sí verdaderos instrumentos musicales los que producen el sonido y esto es causa de un alejamiento de la pureza del material sonoro producido (en cuanto a la superficie de radiación, distorsión, contenido armónico, etc.).

Los gramófonos

Los primeros resultados dejaban mucho que desear y los sonidos eran positivamente estridentes y muy diferentes del original y para el que ha escuchado los sonidos de los primeros gramófonos en comparación con las pianolas, violinas y otros instrumentos tradicionales mecanizados, no deja de causar asombro como el público de la época fue abandonando estos últimos para preferir el primero y está uno obligado a concluir que fue más la inclinación a la novedad que a la calidad musical de ésta.

La calidad ha ido mejorando paulatinamente, aunque la reproducción final sonora sigue siendo en el cono de cartón. Sin embargo, nuevas tecnologías aplicadas a la reproducción en los nuevos instrumentos tales como órganos, guitarras y el mismo sintetizador y la computadora, permiten concluir que en el presente se ha alcanzado una buena calidad musical en el sonido final.

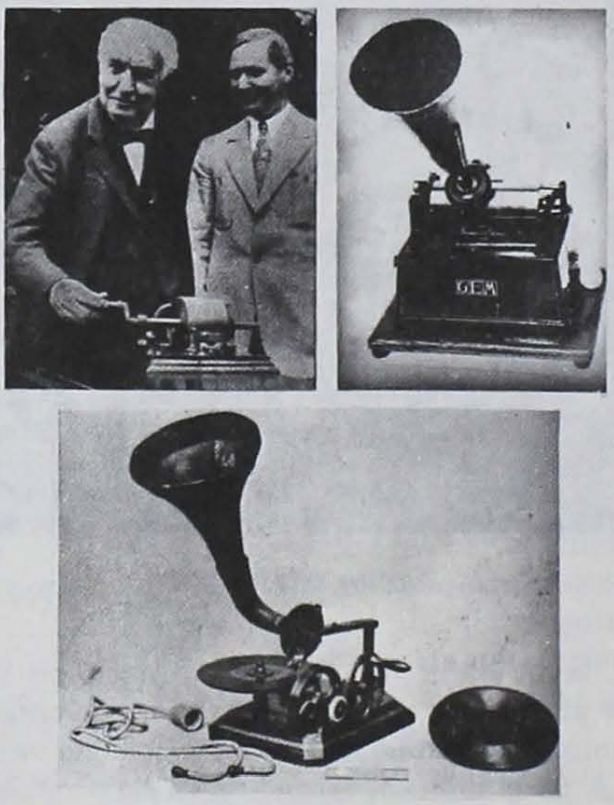


Figura I.28 a) Edison muestra su primer gramófono. b) El modelo comercial. c) El modelo "Berliner" de disco en vez de cilindro.

5. El control eléctrico y electrónico

La electricidad

El nuevo descubrimiento de la humanidad: la electricidad, trajo como consecuencia nuevos instrumentos, con innovaciones frecuentes que mejoraban día a día su calidad y sus posibilidades. El primer resultado fue el desplazamiento de los instrumentos mecánicos y neumáticos, aunque las primeras aplicaciones fueron para sustituir las pesas o la cuerda o en última instancia la fuerza humana, o en otras palabras, para proporcionar la fuerza motriz a los instrumentos ya existentes pero concebidos aún "a la antigua". Poco a poco fueron surgiendo nuevos mecanismos que producían sus sonidos ya en forma puramente eléctrica y serán éstos los que estudiaremos aquí, pues son los verdaderos instrumentos representantes de la nueva tecnología. Los aparatos que transmiten la música tampoco tendrán cabida, ya que son reproductores y no productores, y como tales, tampoco son instrumentos musicales.

Las primeras aplicaciones: como fuerza motriz

Instrumentos eléctricos

La vida de los instrumentos que operaban con mecanismos puramente eléctricos fue efímera, pues la electrónica irrumpió impetuosamente imponiendo sus ventajas indiscutibles y arrastrando a los inventores a una actividad intensa que se prolonga hasta nuestros días y seguirá en el futuro, pues los recursos y el avance tecnológico de esta especialidad parecen no tener fin.

El Telharmonium, precursor de los instrumentos con sonidos eléctricos

El precursor de todos los instrumentos eléctricos fue construido en los Estados Unidos por Thaddeus Cahill, bautizado como Dynamophone o Telharmonium, en 1907 (patentado en 1895). En este año no se habían inventado aún ni los bulbos ni los altavoces o bocinas, por lo cual los sonidos, producidos por ruedas dentadas pasando frente a electroimanes, se hacían sonar en los auriculares teléfonicos. La combinación múltiple de estos sonidos, pretendía imitar la sonoridad de una orquesta pequeña pero completa, con presencia de todas las familias de timbres.

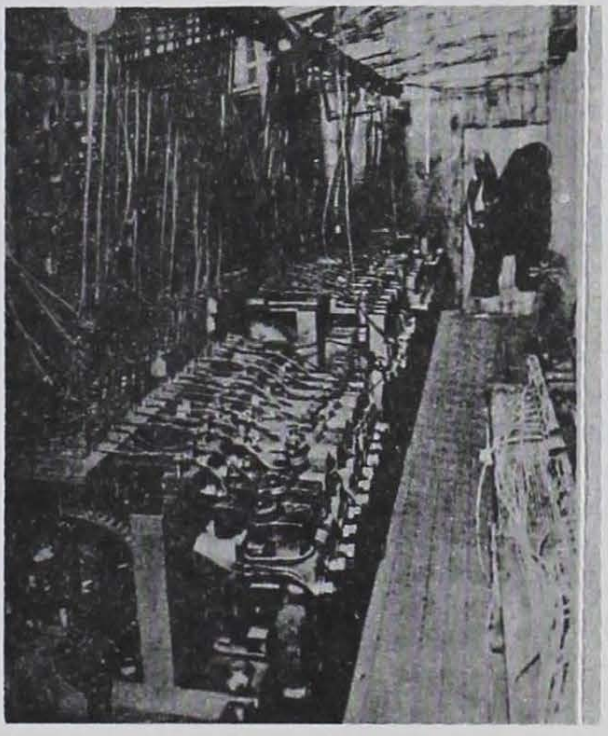


Figura I.29
El Telharmonium de Cahill.

El "instrumento musical" era más parecido a una gran máquina de industria pesada, con un volumen enorme y un peso que excedía las 200 toneladas, y ponía sonido a las líneas telefónicas de entonces, ya de por sí ruidosas y de respuesta limitadísima a las frecuencias... los músicos contemporáneos, sin embargo, apreciaron los sonidos producidos "por su extraordinaria pureza y afinación". Es conveniente anotar que por ese tiempo y desde aproximadamente el año 1880, el Electrophone era un servicio telefónico –muy popular hasta el advenimiento del radio– que por suscripción permitía conectar al usuario a los teatros y salas de concierto, para que recibiera en su teléfono, con un aparato especial, la música o el sonido de la comedia solicitada. La diferencia con el dinamófono de Cahill es que los sonidos eran producidos enteramente en forma electromecánica. Cahill no era músico, pero comprendía la limitación de los instrumentos tradicionales y su imposibilidad de llevar la música a las multitudes y sus ideas eran tan avanzadas, que aún a la fecha rigen muchas de ellas: por un lado el órgano Hammond, cuya popularidad se ha sostenido por casi medio siglo y que produce sus sonidos en la misma forma ideada por Cahill, y ni comentario merece la transmisión de la música al hogar mismo del melómano. Pero en aquella época la técnica era impotente para realizar enteramente sus ideas y el resultado inevitable fue la corta vida de este invento.

Ideas avanzadas de Cahill

Nacimiento de la electrónica

Por los mismos años, en 1906, Lee de Forest patentaba el audión o triodo, sin comprender perfectamente como trabajaba y menos aún, sin darse cuenta que iniciaba con ello el control preciso de la electricidad y materializaba el primer artefacto de una tecnología que ha cambiado al mundo actual: la electrónica. El mismo de Forest patentaba, en 1915, un aparato para "producir notas musicales", que no era sino el primero y muy crudo oscilador electrónico.

Todos hemos presenciado alguna vez que, si a un micrófono se le aumenta la amplificación en demasía, se produce un silbido intenso que no es sino la "retroalimentación" de una parte de la energía de la bocina de nuevo hacia el micrófono, el cual lo amplifica y lo envía de nuevo a la bocina y el ciclo se repite.

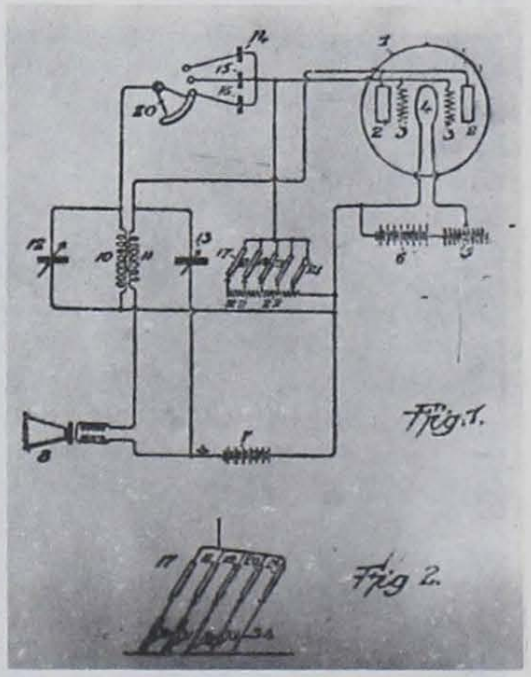


Figura I.30
De Forest, patente para un instrumento musical.

Este es el principio del oscilador electrónico que, con las modificaciones adecuadas produjo una verdadera fiebre de invenciones y dio origen a tantas y tan variadas posibilidades de osciladores, que desde entonces ningún oscilador nuevo ha sido descubierto. Esta efervescencia produjo una gran variedad de instrumentos musicales de los cuales muchos alcanzaron la fase de fabricación y comercialización, constituyendo hasta la fecha la médula de los instrumentos electrónicos modernos, con exclusión de la computadora, que calcula numéricamente las ondas de las oscilaciones.

Los primeros circuitos electrónicos fueron musicales

Es interesante constatar asimismo que los primeros instrumentos electrónicos se patentaban y construían como "productores de notas musicales", lo que contradice la idea que se tiene de que la música electrónica usó aparatos privativos del laboratorio de radio para producir los sonidos musicales. Existieron también muchos aparatos puramente eléctricos, hoy olvidados, pero que aún en su época no trascendieron mayormente, pues no eran sino una hibridación de la mecánica tradicional instrumental, con algunos auxiliares eléctricos solamente. Los que fueron realmente los precursores de los instrumentos electrónicos modernos, fueron los derivados (como prolongaciones directas) del oscilador de de Forest, estos instrumentos alcanzaron gran prestigio e interesaron grandemente a los compositores.

El sistema Heterodino

Antes de entrar de lleno a la descripción de los principales instrumentos musicales electrónicos, haremos una pequeña digresión para conocer el principio de funcionamiento de los que usaron el sistema heterodino (de héteros: diferentes y hodós: camino). Si dos osciladores electrónicos se hacen funcionar a diferentes frecuencias ultrasónicas pero muy cercanas una de la otra, por ejemplo uno a 100,000 hertz y el otro a 100,440 hertz (hertz es el nombre moderno para ciclos por segundo, en honor del físico alemán del mismo nombre del siglo XIX, descubridor de las ondas electromagnéticas), y si ambas frecuencias se mezclan y se extrae por medios electrónicos la resta de las dos, se obtendrá una frecuencia única de 440 hertz, o sea el La_4. Este procedimiento es muy común en la electrónica y se usa con frecuencia.

El Theremin

León Theremin, científico ruso de origen francés, presentó en un congreso de ingenieros, en 1920, un pequeño aparato llamado "therminvox" o "etherófono" (que finalmente se identificó como Theremin simplemente), basado en el principio heterodino. Para la época era un instrumento verdaderamente revolucionario: no tenía teclado, ni cuerdas, ni controles... ni siquiera era necesario tocarlo –en el sentido táctil del vocablo–, pues era simplemente una pequeña caja con dos antenas, y eso era todo. Theremin se colocó frente al instrumento y sin llegar a tocarlo, con la mano derecha comenzó a producir melodías: mientras más acercaba la mano a la antena, más subía el tono y viceversa. Con la izquierda y con la otra antena, controlaba el volumen o intensidad de la nota producida.

Antes de su presentación debió ensayar concienzudamente para obtener las melodías y su dinámica, pues el control es muy difícil (¿qué instrumento no lo es?) y la técnica, inexistente, debió inventarla igualmente. El alcance del Theremin era 6 octavas, usándose prácticamente unas 4 o 5, las que aunadas a los nuevos timbres peculiares del theremin debieron parecer arte de magia a los espectadores: un director haciendo "pases misteriosos" ante una caja con dos antenas y ésta que respondía produciendo música.

Figura I.31
Leon Theremin en un concierto con su etherófono.

El instrumento era solamente melódico, o como se dice ahora: monofónico, y para el 1929 la RCA lo comercializó como unidad y también en combinación con un fonógrafo que proporcionaba el acompañamiento de las melodías que se obtenían en él.

En 1938, León Theremin, después de haber presentado varias mejoras a su aparato, abandonó los Estados Unidos donde residía, con destino a Rusia y desapareció allí misteriosamente cuando los resultados de su instrumento eran más prometedores y requerían su presencia. No se ha vuelto a saber más de él.

El Esferófono

Otro instrumento de importancia, aunque no llegó ni con mucho a la popularidad del theremin, fue el esferófono de Jörg Mager, basado también en el principio heterodino y presentado por su autor en el año 1924. Uno de los objetivos de Mager era la producción sencilla de microtonos ya que el autor era creyente fiel de ese sistema "para liberar a la música de las cadenas seculares". El control era una palanca parecida al brazo de un fonógrafo y que movía mecanismos internos para variar la frecuencia o altura de las notas. Como referencia tenía una escala dibujada, pero sólo como referencia, pues la posición de la palanca se podía mover con libertad y producir microtonos a vo-

luntad. Sin embargo, para mejorar la aceptación y permitir afinarlo en forma compatible con los instrumentos tradicionales, al presentar el "esferófono II", ya optó por el teclado tradicional.

Finalmente cayó en el "partituróforo", aparato a cinco voces, con teclado normal e inclusión adicional de ruidos especiales. Mager actuó en Bayreuth en los festivales de Wagner y en música de películas en el año 1935, sin embargo fue otro caso en el cual las circunstancias siempre le fueron adversas pues sus concepciones y realizaciones eran realmente atrevidas y muy avanzadas para su época. Mager aspiraba a una música electrónica para las masas, utilizando los medios más avanzados de radiodifusión y producción electrónica musical. Aspiraba también a una música "mucho más elevada, más potente... con inclusión de la totalidad de las vibraciones sonoras... para obtener un nuevo mundo musical que eclipsara todo lo hecho hasta ese momento". Profesó también la musicoterapia: "una música electrónica que influyera de modo curativo en cuerpo y alma". Pero así como se ha dicho que Napoleón no hubiese pasado de ser un capitán de caballería, de haber nacido en otro tiempo; así grandes personalidades y verdaderos genios en un ambiente hostil impropio o simplemente que no los comprende, se marchitan sin fructificar en todo su esplendor y alcances y tal fue el caso de Mager y también el de Winkel, que hemos visto antes. En 1939, Mager muere frustado y sus ideas son olvidadas de prisa.

Mager y sus aspiraciones

Figura I.32
El esferófono de Mager, con el autor operándolo.

Martenot triunfa con sus "ondas"

Muy diferente fue la fortuna para Maurice Martenot, con su instrumento conocido originalmente como "ondas musicales" y finalmente como "ondas martenot". Su primera exhibición fue en 1928, en la ópera de París, interpretando un concierto de Levidis, para ondas y orquesta y con Martenot como solista en una obra esencialmente microtonal, con cuartos y octavos de tono.

El interés fue instantáneo y lo demuestra el hecho de que en los siguientes seis años, casi treinta compositores escribieron para este instrumento, además de la publicación de un "método", con prefacio del famoso Cortot, complementado todo con innumerables grabaciones. Varios modelos del instrumento se pusieron a la venta, siendo el más popular y perfeccionado el de teclado normal tradicional; monofónico desde luego, pero con una gran riqueza de timbres y con la posibilidad de obtener microtonos y vibrato con las teclas, que tenían movimiento lateral, facilidad que permitía además, con la debida destreza, glissandos en todo el rango tonal.

Figura I.33 a) Un modelo del ondas martenot. b) La hermana del inventor en concierto.

La música y lo desconocido

Cabe enumerar aquí una serie de hechos que, a pesar o en contra de la idea de Martenot, que insistía en que su instrumento producía simplemente ondas musicales, fueron sucediéndose de tal modo de asociar su sonido y los similares producidos por otros instrumentos electrónicos de la época (y aún en el presente) con una mística "ultraterrena" o "interespacial", que desde luego es ajena a la música en sí. Levidis, el autor del concierto inaugural de las "ondas", anotaba en el programa que: "el alma solitaria es como un cementerio... el alma conoce y desea el gozo infinito de la luz eterna". Posteriormente con dos ondas y canto, compuso un De Profundis (el salmo de los muertos usado por la iglesia católica).

Por otro lado, Honegger, que profesaba abiertamente su proselitismo a la música para las máquinas, habló de "la voz de los dioses y de los elementos". Jolivet opinó también como "la voz sonora del alma inmortal"; Delannoy sobre: "los timbres humanos, angélicos o demoníacos" ... y todavía en 1955, Slavensky componía una "visión cósmica" para instrumentos eléctricos y tradicionales.

Fue así, quizá subconscientemente, como los sonidos electrónicos se han ido asociando con sonidos "extraterrestes", tendencia que persiste hasta la fecha, agravada con los viajes espaciales que, reales o de ciencia-ficción, dejan oír inevitablemente esa música etérea, lánguida y misteriosa.

Trautwein y su Trautonium

También Alemania participaba de la inquietud por los nuevos instrumentos electrónicos, y en Berlín el Dr. Trautwein trabajaba en el llamado trautonium, exhibido en Colonia en 1930, utilizando un sistema de generación muy diferente al theremin y al ondas. En primer lugar, en vez de teclado poseía un ingenioso artefacto usado previamente en el Hellertion y que consistía en una banda de acero restirada y muy próxima a un alambre-resistencia. Al apoyar el dedo sobre la banda, esta bajaba y tocaba al alambre, cerrando el circuito y produciendo la nota en función de la posición del dedo sobre la longitud de la banda.

La segunda innovación es que la onda se producía directamente y no usaba el sistema heterodino. La onda sonora tenía la forma de un diente de sierra, onda muy rica en armónicas, de la cual se extraía el timbre deseado por medio de filtros o sea, supresores y enfatizadores de ciertas armónicas de la onda sierra.

Figura I.34 El trautonio de concierto.

El instrumento era melódico solamente y su importancia reside en que sus principios: la banda restirada, la onda usada y la forma de obtenerla, son ampliamente utilizados en el presente. El trautonio tuvo gran difusión y popularidad y, teniendo a Hindemith como colaborador de Trautwein, se aseguraron varias composiciones de obras musicales

hechas ex-profeso para el instrumento, explotando sus recursos adecuadamente por un músico famoso.

Los tres instrumentos estudiados: Theremin, martenot y trautonio, fueron los más populares de entre la multitud de diseños electrónicos. Hubo naturalmente muchos otros que enumeraremos brevemente en secuencia cronológica y con algunas notas pertinentes al caso, con la doble intención de que el lector se familiarice con algunos mecanismos que seguramente encontrará en los estudios de música electrónica de la actualidad y también, que despierten en su mente algunas ideas que puedan ser experimentadas con los recursos modernos.

Instrumentos electrónicos varios

Dinafón (Dynaphone): invento de Bertrand en 1928, que producía notas en todo el rango audible y, aunque monofónico en principio, podía producir simultáneamente quintas y octavas junto con la voz principal. Honegger compuso para él, el ballet "Roses en metal".

Emicon: construido en los Estados Unidos en 1930, con un teclado tradicional de 32 teclas, melódico con amplia variedad de timbres.

Hellertion: construido en 1931, su nombre está formado por el de sus dos inventores: Helberger y Lertes. Incluyó una inovación interesante: la banda restirada que vimos antes. En su versión mejorada de 1936 venía con cuatro bandas y marcas correspondiendo a los semitonos de un teclado normal, de este modo producía cuatro voces con posibilidades microtonales y gran surtido de timbres.

Octavas decimales

Mellertion: Exhibido en 1933, estaba construido con octavas decimales, es decir, la octava dividida en 10 partes iguales. "Nuevas melodías emanan de este instrumento y están muy fuera de la experiencia musical actual" rezaba un comentario de la época. Yo dudo mucho que fuese algo espectacular, pues hace varios años afiné mi piano también en escalas decimales y aunque extrañas –algunas muy atractivas– las melodías y acordes no eran nada excepcional o del otro mundo como suele decirse. Lo que sí lo fue, el berrinche del afinador al encontrarse con tal destrozo.

La casa Wurlitzer construyó un piano electrónico que no era sino otra aplicación de la banda restirada, de las que poseía dos con marcas correspondiendo al teclado convencional, tal como se presentaron las últimas versiones del trautonio de concierto. Estaban acomodadas de tal modo que una se usaba con los dedos y otra con el pulgar solamente. Por supuesto que al apretar entre las marcas, se obtenían microtonos y al deslizar los dedos, glissandos perfectos. Doce botones daban nombres a diferentes sonidos orquestales, discretamente imitados con circuitos electrónicos.

Otras aplicaciones originales fueron el violoncello electrónico del Dr. Karapetoff, precursor de los sintetizadores especializados, sin caja de resonancia pero con amplificadores electrónicos, al igual que el "violín electrofónico" de Moss y Bartley.

La fábrica Bechstein fabricó un piano también sin caja resonante y con los sonidos captados directamente de las cuerdas y amplificados electrónicamente, su nombre era Neo-Bechstein o Siemens-Bechstein, siendo la Siemens la encargada de la parte electrónica.

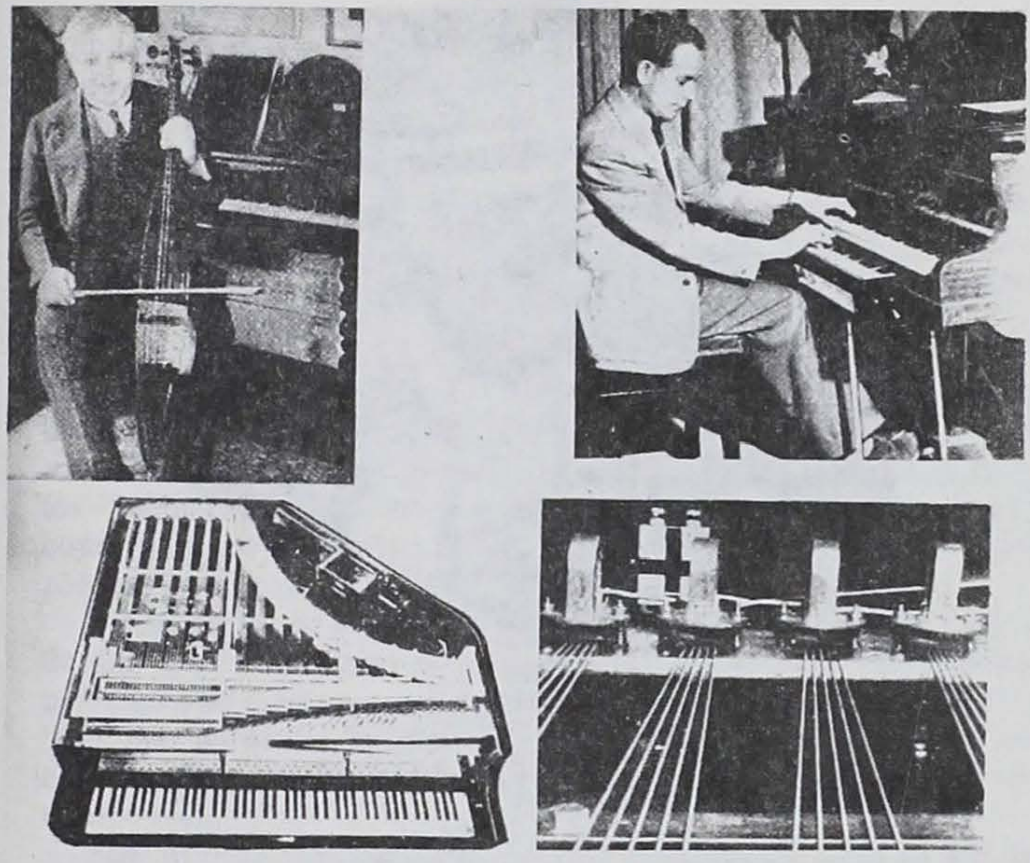


Figura I.35 El violoncello del Dr. Karapetoff, el Claviolín, y finalmente, el Neo-Bechstein, mostrando los captores sonoros en las cuerdas.

El órgano Hammond

En el año 1935 la Hammond puso a la venta su famoso órgano, basado en una versión mejorada del telarmonio de Cahill: montadas sobre un eje común giratorio, van pequeñas ruedas irregulares llamadas "tonales", de unos 3 centímetros de diámetro y frente a ellas se colocan electroimanes que reciben las fluctuaciones del campo magnético por las irregularidades de las ruedas, o mejor, de los polígonos. Cada polígono genera un tono determinado y en cada eje hay 91 polígonos. Para generar los timbres escogidos se combinan las ondas por medio de una fundamental y varias armónicas, en lo que se llama síntesis aditiva.

El Hammond incluía también una cámara de reverberación artificial para adecuar el sonido al tipo de recinto donde se usara el instrumento.

El órgano Hammond es notable, no tanto por los principios empleados, que ya vimos no fueron del todo novedosos, sino porque representa el primer instrumento electrónico de enorme venta y éxito financiero, aunque reconociendo que no fue un instrumento nuevo sino un fascímil del órgano tradicional.

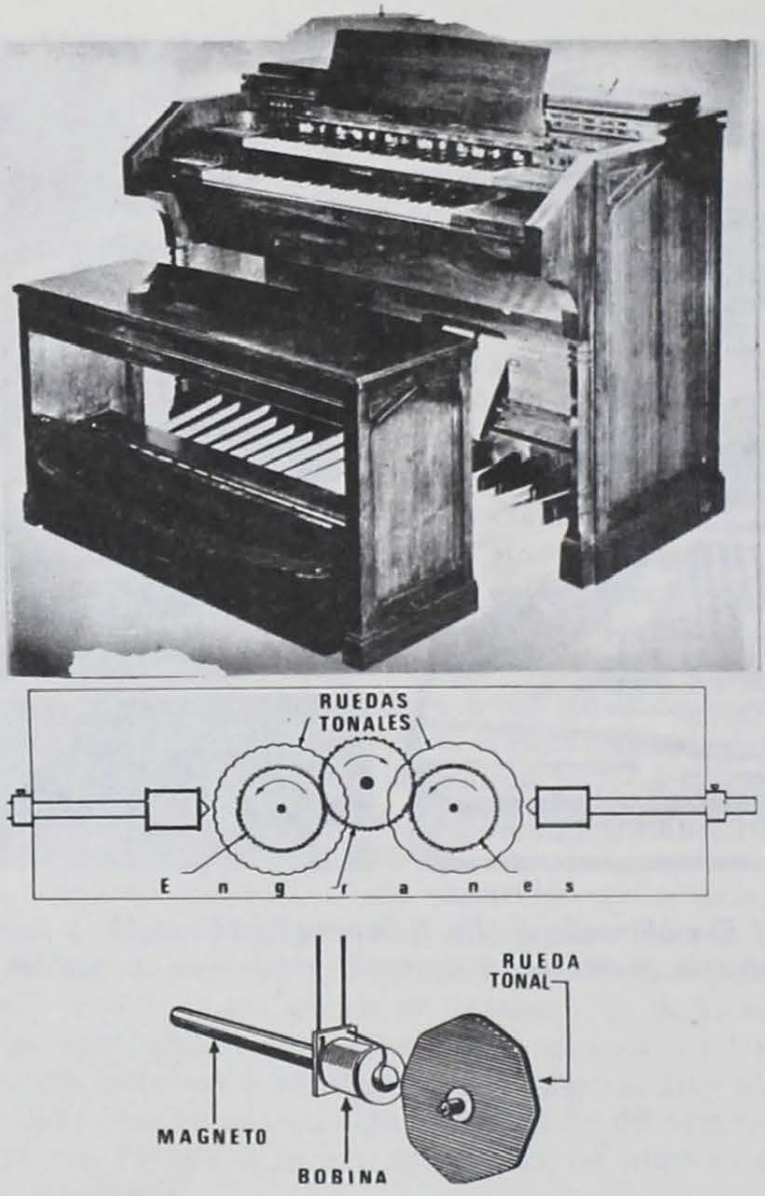


Figura I.36 El órgano Hammond de concierto y un croquis del mecanismo básico utilizado.

Los instrumentos electrónicos se imponen sobre los que imitaron

Aunque Hammond entra al mercado por 1935, de hecho ya estamos hablando del presente, pues una verdadera avalancha de patentes y productos (yo poseo copias de más de 100 patentes de instrumentos musicales electrónicos diferentes sólo de los Estados Unidos) se dejó sentir en Europa y los Estados Unidos. Muchos eran variantes de los anteriores, pero la mayoría eran originales: unos usaban ondas dibujadas que giraban frente a celdas fotoeléctricas. Otros usaban descargas de tubos de gas neón para generar las ondas, otros usaban osciladores electrónicos puros. Marcas ya muy conocidas en el presente se posesionaron del mercado: Baldwin, Wurlitzer, Compton, Hammond (con su Solovox y Novachord); y Constant Martin (con el Claviolin) todos ellos han conquistado el mercado con instrumentos que imitan a los tradicionales, pero que poco a poco desplazan a los originales y, lo que es más importante, ellos mismos se alejan de los mismos instrumentos que imitaron y a lo cual debieron su aceptación, yéndose cada vez más a un

ámbito puramente electrónico y necesariamente nuevo y original. El éxito ha sido sostenido y las personas e instituciones los prefieren por sobre los tradicionales: más caros, voluminosos, difíciles de afinar y mantener y mucho menos versátiles.

Las innovaciones "conservadoras" tienen más éxito que las radicales

Hace algunos años en Detroit, se hizo un sondeo del mercado de automóviles y se concluyó que los modelos que incluían líneas o mecanismos verdaderamente revolucionarios, tenían una aceptación limitada de parte del público y en ocasiones un rechazo total, y que esta reticencia se debía fundamentalmente a la desconfianza ante lo nuevo. Este fue un análisis comercial de mercadeo, pero la historia nos demuestra que es también un principio válido en otras áreas de la actividad humana. Que la gente cambia, sí, pero lentamente y va aceptando los "modelos" que incluyen razgos específicos de modelos anteriores, como para proporcionar una base de sustentación o de comparación... para poder aceptar la nueva dósis de innovación.

Por lo demás, es muy difícil dar un gran salto en la evolución normal de una idea o una cierta estética. Es por ello que los primeros autos se parecían más a las carrozas de la época que a los autos actuales y también, los "autos del futuro", que aparecen de tiempo en tiempo en las exposiciones, siempre resultan ser diferentes de los que arriban en su tiempo real.

Este principio es aceptado comercialmente pero... ¿no lo será también respecto a los principios estéticos? Lo hemos visto en relación con muchos instrumentos musicales revolucionarios, y encaja perfectamente. Sabemos que muchas obras musicales fueron severamente criticadas en su primera presentación, muchas aceptadas con enormes limitaciones y otras enteramente rechazadas y olvidadas, solo para reaparecer años después con gran éxito. Veremos un clásico ejemplo de este principio en el apéndice de este capítulo: El futurismo musical.

6. Apéndices

Anhelos de una revolución musical

Simultáneamente al florecimiento de los instrumentos electrónicos que imitan a los tradicionales, se fue gestando una ruptura histórica y una cristalización del anhelo de crear nuevos instrumentos que estuviesen al nivel de los avances tecnológicos, para producir nuevos sonidos, nuevos timbres, nuevos ritmos... y no todos se conformaron con oír música antigua en instrumentos fascímiles o mímicos sino que se decidieron a crearlos realmente revolucionarios, para sacudir a los compositores y obligarlos a crear obras fuera de la tradición histórica, a pensar en otros términos y a concebir en otras dimensiones. Dos tendencias se presentaron en este aspecto: A) La composición aleatoria, o sea, en la que entran factores no previstos y sujetos al azar. Esta idea sin embargo, tiene raíces que penetran hasta el siglo XVII, pero que renacen ahora a la luz de nuevos conceptos y máquinas. B) La inclusión del ruido como valor musical. Este no es tan antiguo como principio, pues data del movimiento futurista del 1909, y aunque los ruidos se han hallado presentes desde que el mundo existe y han sido incluidos en obras musicales, esto ha sido como mero efecto descriptivo y sin preponderancia alguna en la escala de valores sonoros.

A) Los juegos de azar en la composición musical

La composición musical y su proceso

En varias ocasiones se ha preguntado a compositores famosos la forma en que proceden para la creación de sus obras. La mayoría está acorde en admitir la existencia de lo que podría identificarse como la "inspiración", pero en lo que todos sin excepción coinciden es que después de ésta, si la hubo, se requiere un arduo trabajo para poder materializar una obra de valor.

Tratándose de Bach, el lector me dará la razón de que ningún hombre tan cristiano como él se preciaba de serlo, ha dicho mayor mentira cuando aseveró: "trabaja tanto como yo y realizarás lo que yo he realizado", sin embargo, la primera parte de la sentencia sólo nos confirma lo que ya sabíamos, al observar sus innumerables correcciones, mejorías y distintas versiones que hizo para sus obras y esto, durante toda su vida, y que coincide con la expresión unánime de todos los compositores.

La obra musical no escapa así a la definición que del "genio" diera Edison, cuando se lo atribuían a él. El genio consiste, decía, en uno por ciento de inspiración y noventa y nueve por ciento de transpiración; así, las obras de los grandes compositores son resultado: de la inspiración, de sus conocimientos, de su experiencia y de un arduo trabajo, y más o menos en este mismo orden según su propia versión.

Música Aleatoria

A la luz de las consideraciones previas, la composición al azar me parece que no se trata de la creación de una obra maestra sino una producción de tipo similar a la de cualquier producto al que se le pueda definir por cierto patrón con características variables dentro de límites previstos y controlados. No se diferencia esto de la producción en serie de cualquier producto industrial, con sus variantes del modelo "base", y así, la música pasa a ser un producto de consumo sin más contenido humano que las reglas impuestas inicialmente y las variaciones incontrolables pero previstas, o si se quiere, sin trascender los meros sonidos.

Debe admitirse, sin embargo, que esta tendencia ha existido siempre, y consciente o inconscientemente ha sido creada a lo largo de la historia, en el primer caso creando máquinas para auxiliar a la composición y en el segundo, y si hemos de ser honrados, por muchos compositores que por indiferencia o apatía, o por compromisos adquiridos que no le dan tiempo a la inspiración para que llegue o simplemente por "hablar sin tener nada que decir", podría catalogarse como un tipo de música aleatoria hecha por un maestro, o si se me permite la metáfora, es una talla maravillosa hecha por un artífice... sobre una piedra común, en vez de un diamante.

Máquina para componer música

En el esbozo histórico nos hemos referido a Athanasius Kircher quien en su libro *Misurgia Universalis* incluye, entre multitud de máquinas musicales, un aparato para componer llamado "Arca Musaríthmica", consistente en una caja con correderas en las que están escritos tonos, compases y ritmos. El procedimiento para "componer" es tan simple como sacar a una altura al azar cualquier corredera, e ir anotando lo que aparece en el lugar que se escogió detenerla. Como el número de piezas es aproximadamente de 150 y cada corredera tiene 10 anotaciones, la posibilidad de combinaciones es increíblemente grande.

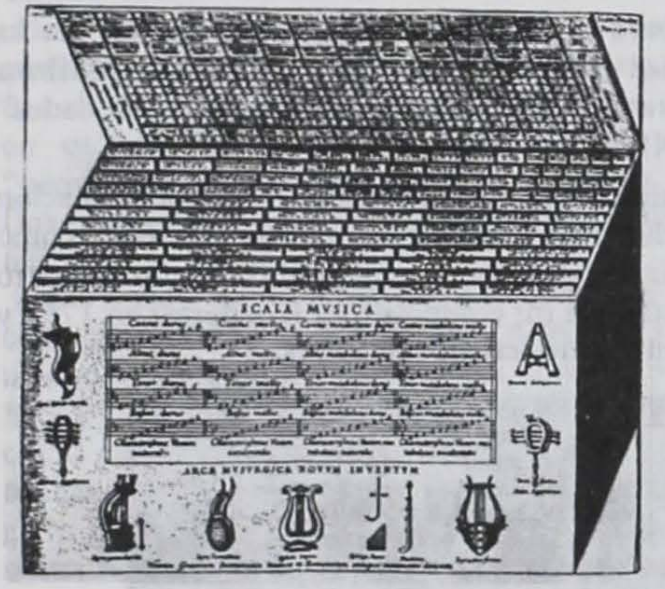


Figura I.37
El Arca Musaríthmica de Kircher, 1660.

En el año de 1670 aparece la Musaríthmica Mirífica, de estilo similar a la de Kircher –que se conserva intacta en la actualidad–, y que nos demuestra que eran populares en tal época estas máquinas de componer.

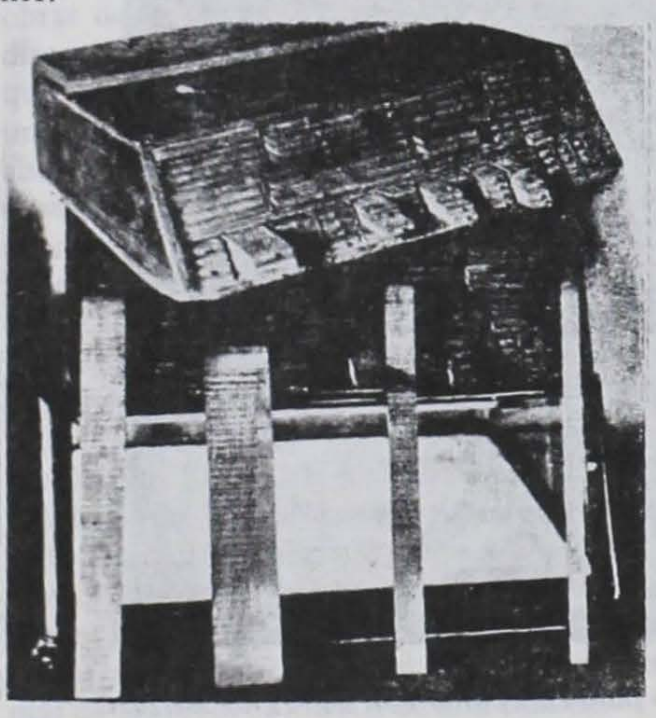


Figura I.38
La Musaríthmica Mirífica, 1670.

A fines del siglo XVIII, Welcker editó un "Sistema tabular con el que cualquier persona, sin el más mínimo conocimiento de música, puede componer diez mil minuetos en la estructura más correcta y placentera".

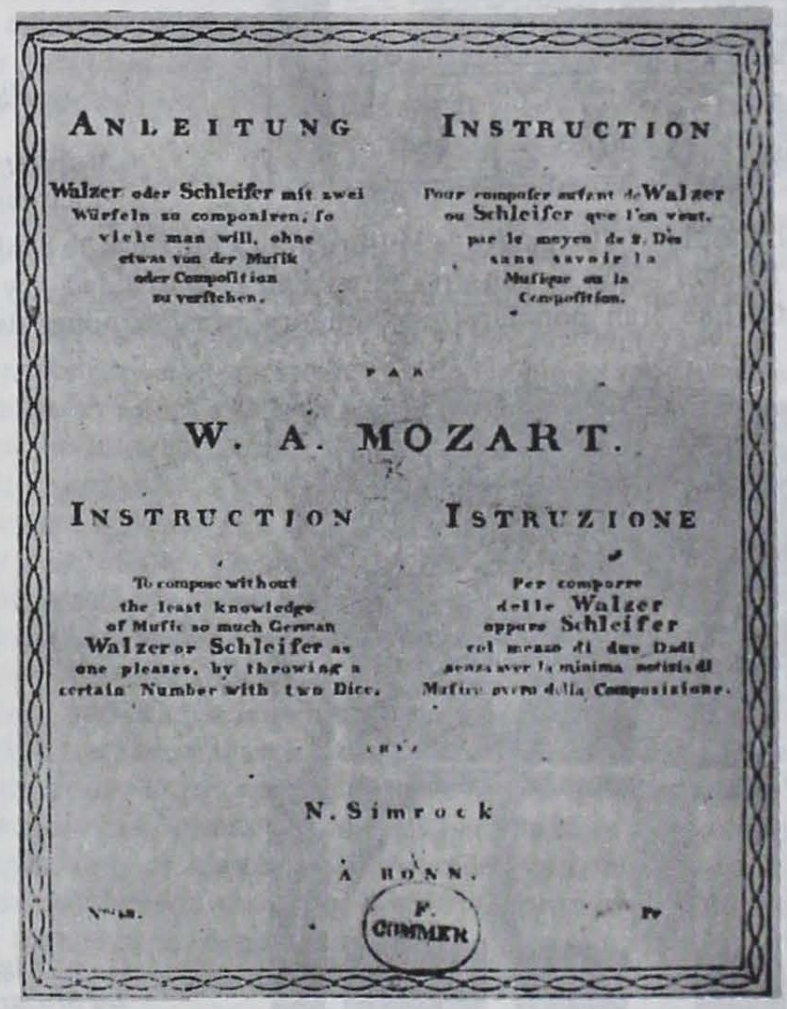
Al principio de este capítulo, vimos la máquina de componer de Winkel, el Componium, datado en 1824, que también puede clasificarse como un medio de composición al azar.

Mozart y su libro de composición al azar

Mozart era amante de los juegos de azar y naturalmente no escapó a la tentación de este sistema. Existe un cuadernillo suyo (publicado en forma póstuma en 1793) con instrucciones para componer "sin el más mínimo conocimiento de música, tantos valses o schleifers (danza

más lenta que el vals) como se desee, por medio de los dados". Se ha dudado de la autenticidad de este trabajo, pero Köchel lo confirma en su catálogo de los trabajos del maestro, bajo "música de dados" (Musikalisches Würfelspiel).

Este cuadernillo ha tenido innumerables ediciones y buena aceptación en tiempos pasados, incluyendo una edición de lujo de 1806, como 'Juegos musicales Mozartianos' (Mozart musical games) editado en cuatro lenguas. Es de hacerse notar que los compositores Kirnberger en 1757 y Haydn en 1790, habían publicado trabajos similares.


ANLEITUNG

Walzer oder Schleifer mit zwei Würfeln zu componiren, so viele man will, ohne etwas von der Musik oder Composition zu verstehen.

INSTRUCTION

Pour composer autant de Walzer ou Schleifer que l'on veut, par le moyen de 2 Dés sans savoir la Musique ou la Composition.

PAR

W. A. MOZART.

INSTRUCTION

To compose without the least knowledge of Music so much German Walzer or Schleifer as one pleases, by throwing a certain Number with two Dice.

ISTRUZIONE

Per comporre delle Walzer oppure Schleifer col mezzo di due Dadi senza aver la minima notizia di Musica overo della Composizione.

CHEZ

N. Simrock

A BONN.

F. COMMER

Figura I.39 El libro para componer con dados, de Mozart.

El sistema se intuye fácilmente: una serie de tablas de compases musicales, prefabricados y debidamente numerados, servían de base a los números obtenidos al tirar los dados. Se anota el compás obtenido, se tiran de nuevo los dados y con el nuevo número se entra de nuevo a las tablas y se anota el nuevo compás. Este simple sistema se repite tantas veces como duración se desee en la pieza musical.

Móda de composición con "receta"

Aparentemente, las obras de este tipo también estaban de moda en el siglo XVIII con métodos más o menos similares al descrito, ya que

existen trabajos atribuidos a K. P. E. Bach, Clementi y otros menos conocidos. Todavía para 1822-23, aparecía un grupo de barajas, el "Kaleidacusticon", con el que se podía componer algo más de la modesta cantidad de 214 millones de valses. En 1865, J. Clinton inventó también un sistema "The quadrille melodist" por medio de barajas, y que "permitía a un pianista mantener el interés en un salón de baile con Quadrilles (danza del siglo XIX), hasta en una variedad de 428 millones".

De hecho, todos estos trabajos obedecen al mismo patrón: es una composición extensa subdividida en multitud de pequeños compases o unidades compatibles entre sí. La composición "multicelular" ya está hecha y sólo hay que reacomodarla al azar. Pero el hecho es que, caiga como cayere el dado siempre presenta una posibilidad de orden y no de caos desordenado y en este aspecto podríamos más bien catalogarlo como un sistema seudoaleatorio. El resultado, por lo demás, es bastante monótono y aún en sus alternativas más atrevidas, es mera "música de consumo", en la opinión de varios "creadores" que han compuesto siguiendo las recetas prescritas.

Música con libertad interpretativa

Existe otro tipo de composición que podríamos llamar "mixta seudo-aleatoria", donde podrían encasillarse una gran cantidad de obras de los siglos XII al XVII, en las que se da cabida al discanto o discantus, o sea una parte vocal libre dejada al arbitrio del intérprete, que se entreteje con la escrita por el autor. Este sistema se llevó a un grado de perfeccionamiento notable y las partituras quedaban abiertas para los intérpretes, incluyendo el bajo cifrado a gusto del clavecinista, por lo general. También la cadenza, al final de los movimientos de un concierto, se dejaba al criterio del intérprete: un ejemplo reciente lo tenemos en 1879, en el concierto para violín de Brahms cuya cadenza es de Joachim, al igual que el de Beethoven.

De hecho, los solistas de piano, violín, canto... y hasta el director, modificaban durante el siglo XIX las partituras de los compositores, y en revancha los compositores las hacían cada vez más y más precisas a modo de no dejar ningún resquicio por donde pudiera filtrarse una interpretación diferente de la concebida. Pero antes que esto sucediera, una parte de la obra era compuesta en plena meditación y control y la otra era dejada (en forma impredecible) al intérprete. Posiblemente sería mejor el calificativo de composiciones asociadas, desde luego de un músico de alta preparación a otro, ya que las más de las veces es música de alta calidad.

Música a la casualidad

John Cage, del que se habla más de lo que se medita su obra, y para ser diferente, no usó ni los dados ni la baraja sino el sistema chino I-Ching (libro de los cambios: es uno de los más viejos de China y por 2000 años se ha usado para profecías y ocultismo). El procedimiento es más rebuscado, pero el resultado es el mismo y va muy de acuerdo con su propia definición de la música, que según él, consiste simplemente "en la producción de tonos y pausas" (Donaueschingen, 1954). Esta definición es muy similar a la que de la poesía hiciera el dadaísta Tristán Tzara: "se ponen todas las palabras en un sombrero y se sacan una tras otra y la poesía dadá ya está formada".

Los experimentos de Cage son bien conocidos y sólo nombraremos uno más: el "Paisaje fantástico No. IV" para 12 aparatos de radio y 24 ejecutantes, presentado en 1951 en Nueva York, bajo su propia dirección. A sus señales se conectaban y desconectaban los radios y se variaban tanto el volumen como las estaciones sintonizadas. La partitura se había hecho con el I-Ching. Nombro este concierto por una razón: es completamente aleatorio y no incluye elementos musicales de ninguna índole, es decir: no es música. Ese mismo año, yo trabajaba en Chicago, en la Stewart-Warner como analista de circuitos electrónicos y prestaba mis servicios en la sección de pruebas y ajustes finales de radios y televisores. El sonido de ese lugar y que se escuchaba 8 horas al día, es idéntico y no se necesita ni el I-Ching ni ser compositor... y además pagan por soportarlo. Desgraciadamente su ejemplo ha hecho escuela y los últimos tiempos han visto innumerables espectáculos de vanguardia musical, con mucha vanguardia... y poca musicalidad.

Música dibujada en la película

Por el año de 1948 Mc. Laren y Kendall de Canadá producían música dibujando los sonidos directamente en la pista sonora de las películas y reproduciéndola a base de celdas fotoeléctricas sensibles a las variaciones de la luz. Este tipo de composición es también seudoaleatoria ya que después de cierta práctica se puede intuir el resultado, aunque nunca se llega a imaginarlo ni producirlo como se desea.

Música compuesta por computadora

Otra forma –más musical– ha sido empleada por Hiller e Isaacson de los Estados Unidos, que compusieron la suite Illiac (Illiac es el nombre dado a la computadora de la Universidad de Illinois) procediendo en la forma siguiente: la computadora fue programada para generar notas en forma aleatoria. Cada nota se analizaba –también por programa– para ver si obedecía a ciertas reglas preestablecidas en el contexto general de la obra (contrapunto en primera especie). Se procedió del mismo modo con los patrones rítmicos, dinámica e instrucciones varias de ejecución, como "arco", "col legno", "pizzicato", etc. y si obedecían al plan general previsto eran aceptados y si no rechazados. Para dar idea de la velocidad de composición, la máquina presentaba las secuencias posibles a una velocidad aproximada de 1000 por segundo.

La suite obtenida, para cuarteto de cuerdas, en tres movimientos, presenta un carácter general bastante tradicional y bajo reglas estrictamente académicas. Es armoniosa, agradable, pero pudieramos decir que da la sensación de cierta dispersión o extravío o quizá cierta incoherencia para oídos educados en la música clásica.

Los compositores saben que su materia prima es la frecuencia, la intensidad y el tiempo, que todo lo demás se deriva de esto y que a fin de cuentas no es posible establecer ninguna regla de composición, lo que vale es el producto final y si es una buena composición puede haber violado todas las reglas académicas, y viceversa, puede ser pésima sin dejar de ser académicamente perfecta. Bajo este concepto, la suite Illiac es un mero ejercicio académico a velocidad de computadora... sin dejar de reconocer la magnífica labor experimental de sus autores, que inició un interés particular en las computadoras para la producción de música, siendo esta una aplicación verdaderamente excepcional y

precursora de lo que vendría en unas décadas como lo veremos en el capítulo especial dedicado a ellas.

Otras composiciones con computadora

Bajo los mismos principios, Olsen y Belar produjeron música al estilo de Stephan Foster. Después Lindblom y Sundberg lo hicieron para producir en computadora melodías populares suecas 'sintéticas'. No nos extenderemos más en este esbozo histórico y reservamos el detalle de las técnicas de composición por computadora para el capítulo V.

Método de milimetración de Villalobos

Otro método de composición aleatoria es el utilizado por Villalobos y con el cual escribió la melodía "Serra de Piedade", el cual consiste en colocar sobre un papel milimétrico el perfil de una foto o dibujo y calcarlo sobre el papel.

Los valores horizontales corresponden a las notas y los verticales a los valores de tales notas. Villalobos confiesa haber obtenido en una hora y 50 minutos la melodía, debidamente armonizada, "descriptiva" del horizonte de los rascacielos de Nueva York en el año de 1940.

Los métodos de composición aleatoria pueden prologarse hasta el infinito y no se requiere ciertamente un genio agudo para inventarlos: dibuje usted un círculo y ponga en él las doce notas en varias octavas, enseguida lance usted un dardo y vaya anotando las notas acertadas en cada impacto... moje usted un cepillo de dientes en tinta de sellos y salpique un pentagrama. La imaginación ciertamente hallará recursos pero... ¿será música lo que resulte?

Muchas composiciones modernas se presentan en forma de perfiles en los pentagramas, que el ejecutante seguirá *ad-libitum*, en este caso la composición se puede considerar también como composición asociada como la definimos antes, pues tiene límites preestablecidos por el autor y que serán interpretados por un músico profesional. Otros dibujan figuras, paisajes, y las partituras caen más en la clasificación de pinturas que de música, (quizá con el tiempo, los pintores, cuyas pinturas ya no lo parecen, terminen haciendo música). Pero nos hemos alejado del tema medular y ya es tiempo de retornar a él.

B) El movimiento futurista y sus "ruidores"

Puntos del manifiesto futurista

El 20 de febrero de 1909, aparecía en *Le Figaro* de París el llamado "Manifiesto Futurista", que cubría principalmente el campo pictórico y expresaba, en forma sumaria:

1.- Desprecio del pasado. 2.- Odio a los museos, academias y todo lo clásico y tradicional. 3.- Amor a la velocidad, libertad, energía y peligros. 4.- Desprecio al sentimentalismo y adoración a la máquina y a la vida frenética moderna. 5.- Veneración a la originalidad y desprecio a toda forma de imitación y plagio.

El apostol del movimiento era Marinetti, pintor de prestigio en el ámbito parisino. En el aspecto musical era Pratella que, conforme a estos principios realizó una "ópera futurista": La siria de Vargoün, representada en Boloña, Italia, y que terminó a puñetazos y bastonazos, con once heridos entre artistas y público, el 9 de marzo de 1913. Russolo, quien era pintor y músico se unió con entusiasmo al grupo. Como pintor había expuesto en París, Londres y Berlín y había tenido elogios de la crítica pero se decidió por la música e inventó los "ruidores" (intonarumori).

Los ruidores de Russolo

Russolo abogaba por el arte de los ruidos, y con su amigo Piatti construyó 21 ruidores en 1916. Había zumbadores, crujidores, atronadores, silbadores, murmuradores, chirriadores, roncadores, rugidores, explotadores, gritadores, carcajeadores... y muchos otros más difíciles de pronunciar y escribir. Unos eran mecánicos y otros eléctricos, pues la electrónica en esa época no podía aún auxiliarlos.

Por su parte Russolo emitió en la ciudad de Milán, en 1913, su manifiesto sobre "el arte de los ruidos" que, entresacando algunas partes medulares decía: "Vaguemos por una ciudad moderna con más oídos que ojos [...] distingamos los sonidos del agua, aire, los ruidos de las máquinas, de los tranvías [...] orquestaremos los ruidos de las multitudes agobiadas en las estaciones de ferrocarril, en las fábricas, en el ferrocarril subterráneo [...] tampoco debemos olvidar el ruido de las guerras [...] todos hemos amado a los grandes maestros, pero ya estamos cansados de ellos, nos causan un mayor placer los ruidos de la ciudad que volver a oir La Pastoral [...]"

Trabajos de Russolo

Ciertamente era revolucionario... y activo, pues tras de los ruidores, perfeccionó un "rumorarmonio", que reunía varios timbres sonoros como ruidos entonados. También se le debe el "arco inarmónico" para producir con facilidad cualquier subdivisión microtonal en los instrumentos de arco. Produjo además en Milán en el año 1916, una obra titulada "L'arte dei rumori" y en donde proscribe la tonalidad, la construcción temática, el ritmo, etcétera.

Marinetti impulsó al futurismo

La irradiación del futurismo, se debió principalmente a Marinetti que ya era famoso en París como un escritor de gran originalidad y fue el promotor de tres conciertos de música futurista que se realizaron en esa ciudad en 1921 y que causaron tan buena impresión que se le hizo un pedido de 12 ruidores a Russolo.

TEATRO DAL VERME

Martedì 21 Aprile - Ore 21

GRAN CONCERTO FUTURISTA D'INTONARUMORI

Precederà un discorso di MARINETTI

Esecuzione delle 3 spirali di rumori intonati composte e dirette da

LUIGI RUSSOLO

inventore dell'Arte dei Rumori

Orchestra di 18 intonarumori

LUIGI RUSSOLO - UGO PIATTI

THEATRE DES CHAMPS ELYSÉES - PARIS

(Direction JACQUES HÉBERTOT)

le Vendredi 17
le Lundi 20
le Vendredi 24 Juin 1921

3 CONCERTS EXCEPTIONNELS DES

BRUITEURS FUTURISTES ITALIENS

inventés par LUIGI RUSSOLO

et construits par lui en collaboration avec UGO PIATTI

Les concerts seront dirigés par le Maestro ANTONIO RUSSOLO

auteur des six compositions musicales pour bruiteurs

CAUSERIE PRÉLIMINAIRE de M. MARINETTI

Les bruiteurs futuristes ne sont pas des instruments bizarres et cacophoniques. Les bruiteurs futuristes sont des instruments de musique absolument nouveaux qui donnent, avec des timbres nouveaux (dont plusieurs très doux), toute la gamme musicale.

Figura I.40 Volantes de los conciertos futuristas a) En Italia, b) En París.

Los conciertos fueron híbridos, con ruidores e instrumentos tradicionales y entre la audiencia se hallaban Claudel, Milhaud, Stravinsky, Ravel y otros, que seguramente recibieron nuevas impresiones que dejarían huella en sus obras.

El futurismo no era un clamor de rebeldía contra las formas estéticas consagradas, simplemente deseaban hallar nuevas expresiones estéticas y a la música tradicional oponían música futurista, pero al fin y al cabo música.

Según un testigo presencial (Irving Travis) que escuchó está música, "era inofensiva, en cierto modo primitiva y quizá hasta decepcionante", sin embargo, se ha avanzado tanto en el atrevimiento musical en estos últimos años –si se me permite la expresión– que puede considerarse inocente lo que en su tiempo fue revolucionario.

El futurismo se extingue

El futurismo tuvo un resplandor vivo pero efímero, su delirio imperialista y dominante se extinguió como estrella fugaz, dejando para la posteridad multitud de inquietudes y de nuevas energías, y si no movió los fundamentos del arte, a lo menos evolucionó la sensibilidad y ensanchó sus dominios.

Marinetti fue hecho senador por Mussolini y puesto al frente de la cultura fascista... Después de la guerra, Russolo pintaba de nuevo en París y vivía en la pobreza. En un postrer esfuerzo de rehabilitación construyó aún el Russolófono (1930) que ya jamás sonó... Russolo regresó a Milán y retomó la pintura. En 1942 quiso construir un piano microtonal que jamás concluyó y en 1947 murió preocupado por problemas parasicológicos y ocultistas y el futurismo musical se extinguió con él...

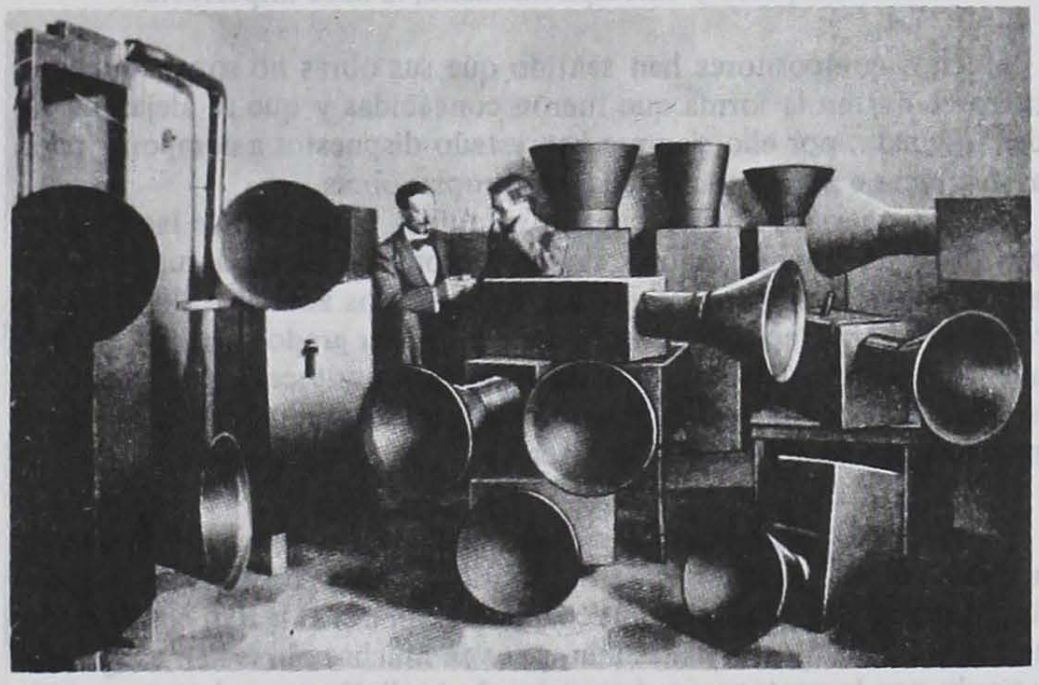


Figura I.41 Los ruidores (intonarumori) de Russolo. (En la foto: Russolo y Piatti).

7. Conclusión

La evolucion ha sido mecanización

Si estudiamos el progreso del arte con el ánimo de definir la evolución, y extrapolando, tratar de trazar una tendencia, podemos observar que existe un movimiento claro y preciso hacia una mecanización cada vez mayor, y si los orígenes musicales tuvieron como punto de partida el cuerpo humano –música del cuerpo– en forma vocal y percusiva con predominio rítmico, la evolución ha sido hacia una utilización cada vez mayor de instrumentos y máquinas y en ocasiones en forma drástica, eliminando totalmente al ser humano. Esta tendencia siempre se ha moderado y ha terminado por ayudar y multiplicar las posibilidades de producir música, incluso en el ámbito de la composición y no sólo en el aspecto instrumental.

La máquina perfecciona a la música

Otro aspecto interesante es la opinión de los músicos, que en forma permanente han considerado a la máquina como el único medio de llegar a producir la "música perfecta"; lo que implica que los instrumentos, la moda, los errores y el amaneramiento de los instrumentistas, aún dándole un aspecto y emoción humanas, la hace imperfecta.

Muchos compositores han sentido que sus obras no son finalmente interpretadas en la forma que fueron concebidas y que se alejan de su idea original... por ello siempre han estado dispuestos a componer para las máquinas e interpretar en ellas sus propias obras.

Las máquinas actuales son herencia de la historia

Debe tenerse en cuenta que las máquinas musicales de las que hemos dado un somero esbozo, se han prolongado en las actuales como una continuidad natural, y que los instrumentos actuales: sintetizador y computadora electrónicas, así como en menor grado la reproducción, grabación y radiodifusión, no existirían sin los antecedentes históricos estudiados y que la tendencia irreversible es hacia una mayor y mejor mecanización de la música y las artes.

Yo veo a la computadora y al sintetizador como una continuación natural de las máquinas en la música, pero con una diferencia fundamental con ellas: los músicos de hoy en día sí la han considerado un nuevo instrumento y más aún, pues en muchas obras han exagerado y tirado por la ventana muchos siglos de tradición y madurez musical. Otros, sin embargo, han puesto música vieja en estos instrumentos y el éxito obtenido no los exculpa de haber cometido el mismo error que estudiamos en el bosquejo histórico. Otros aún las han hecho trabajar con plena autonomía y sin intervención alguna de seres humanos.

Si la historia nos ha de dar alguna experiencia, ¿cuál es, pues, su función? Mi opinión al respecto es que debemos usar las máquinas como nuevos instrumentos, explotar al máximo sus poderosos recursos y componer música en función y a la medida de sus características y su potencialidad, a modo de crear música que sólo ellas puedan materializar o sonorizar. Ya veremos, sin embargo, que esto tomará algún tiempo, principalmente por nuestro oído que, encadenado por costumbres seculares, presenta una resistencia tenaz a los nuevos timbres, intervalos y sonidos extraños, y aún los altera, generando sonidos propios para identificarlos con lo que ya tiene conocido.

CAPITULO II

ELEMENTOS DE ACUSTICA MUSICAL

1. Resumen

La exposición es conceptual y no matemática

La acústica musical como la desarrollaremos en este capítulo, se refiere a la exposición conceptual de todos los elementos, digamos, del ámbito de la ingeniería musical, que el músico requiere conocer –y habituarse con ellos– para imaginar, investigar y producir, con pleno conocimiento de causa, las sonoridades y efectos que puede brindarle el estudio de la música electrónica.

Se consideró didáctico estudiar algunos conceptos teóricos y verterlos en una aplicación práctica, para enseguida volver a tomar otros y volver a aplicarlos prácticamente. En esta forma llevo este capítulo, que considero fundamental, y que sin embargo es al que muestran más reticencia los músicos, y si la experiencia de mis clases son válidas, el desarrollo anotado permite mantener el interés, haciendo ver al estudiante que los aspectos teóricos tienen aplicación concreta e inmediata.

El oído y la voz como el receptor y el emisor naturales

El oído y la voz se ven bajo un punto de vista técnico-musical y conforme a las teorías más recientes respecto a su funcionamiento.

El vocabulario lo voy haciendo poco a poco más técnico, habida cuenta que la música no tiene vocablos para designar muchos fenómenos sonoros que comienzan a explotarse apenas ahora en la producmusical y que el músico necesita conocer para hablar en el mismo idioma de los nuevos instrumentos musicales: sintetizador y computadora.

Se hace una explicación generalizada de la producción, propiedades y transmisión del sonido. Se analizan con cierto detalle las formas de onda complejas más usadas en todos los sistemas de síntesis musical en el ámbito electroacústico.

Los instrumentos se ven por familias

Los instrumentos tradicionales se ven genéricamente por familias con características comunes, que aporten al estudiante una base conceptual para la comprensión de los sonidos musicales producidos por ellos y pueda eventualmente extenderlos en el estudio electrónico.

La acústica aplicada a la arquitectura –salas y estudios de música–, no la consideraremos, aunque se rozará al tratar las características del sonido en el espacio, y que el estudiante deberá comprender con facilidad en sus principios básicos.

Se ha considerado conveniente el incluir dos apéndices fuera del texto principal. Uno versa sobre las frecuencias en la naturaleza, para ubicar al músico en su lugar y ámbito en el mundo de las vibraciones. El otro es un estudio breve sobre el color en la música, tema que surge una y otra vez en las clases de electroacústica musical y que casi sin excepción se concibe en forma errónea.

Se incluyen dos apéndices

Las gráficas, que son la única forma alterna sobre la explicación, para la representación de un fenómeno, se incluyen con profusión y se varían intencionalmente, para que el lector se familiarice con los tipos más comunes que existen, ya que dan enormes ventajas sobre una explicación escrita... y en ocasiones es la única posibilidad para la comprensión de un fenómeno.

Profusión de ilustraciones en gráficas

La exposición se ha procurado conservar breve –en ocasiones tajante– para poder cubrir lo principal y no exceder el máximo texto previsto. Por lo demás, el lector apreciará el ser llevado por el camino directo y sin rodeos a los lugares que le deben ser comunes en su nueva residencia electrónica. Por mi parte, le aseguro que es más difícil decir mucho en pocas palabras que a la inversa... aunque de vez en cuando doy escape a la "presión" con algún intermedio anecdótico.

La exposición es breve

2. Conceptos: *Las oscilaciones y sus atributos*

a) Naturaleza oscilatoria y forma de transmisión.

El sonido está formado por oscilaciones o vibraciones, pero explicar estos fenómenos es parecido al problema de determinar quien fue primero: si la gallina o el huevo. Siempre en la explicación tiene uno que regresar por conceptos que no se han definido previamente. De este modo, no queda más remedio que comenzar por cualquier lugar, atendiendo a la recomendación de Einstein que decía que las cosas en la vida deben hacerse lo más sencillas que sea posible, pero no más sencillo que esto.

Todos tenemos la experiencia de lo que es una vibración: el movimiento de vaivén de un cuerpo al serle aplicada alguna forma de energía.

El cuerpo humano tiene varios receptores para las vibraciones que ocurren en la naturaleza y así puede registrar el sonido, el calor, la luz. Para que cierta vibración sea registrada por el cuerpo como sonido, debe seguirse cierta secuela obligada: 1. Un cuerpo que vibra y que está en contacto con el aire, al cual le comunica su vibración. 2. El aire que vibra, a su vez, y transmite en todas direcciones la vibración original. 3. El oído que registra el origen y características de la vibración.

El cuerpo detecta varias vibraciones

Veamos más detalladamente los elementos de este fenómeno:

1. La fuente sonora: todo cuerpo que al recibir energía se pone en movimiento, puede constituirse en fuente sonora. No todos los cuerpos que vibran producen sonido. Un ventilador al girar mueve el aire y este movimiento lo percibimos, pero en forma táctil, como viento, pero no oímos su oscilación Es requisito, para que el oído lo perciba como sonido, que vibre como mínimo 16 veces en un segundo y como máximo 16,000 veces, aproximadamente.

Requisito para que una vibración sea sonora

Por supuesto que si la fuente sonora se toca se sentirá la vibración, pero también en forma táctil. Esto es sólo una confirmación de que la vibración existe en forma de movimiento real, pero el tacto no es capaz, como el oído, de determinar todas las características de tal vibración.

Transmisión de un sonido en el aire

2. Un medio transmisor: la fuente sonora, al estar en contacto con el aire (hablaremos de aire para fines prácticos, pero los gases, líquidos y sólidos, también transmiten el sonido), lo comprime por un corto instante, empujando sus partículas en cierta dirección, enseguida la fuente sonora regresa a su posición original, rebasa este límite y viaja al otro extremo del movimiento vibratorio, ahora jalando a las partículas del aire por efecto de la rarefacción o vacío parcial producido. Este movimiento de vaivén se repite constantemente empujando y jalando las partículas inmediatas de aire, las que a su vez chocan y empujan, o absorben y jalan a las contiguas, transmitiendo este vaivén en el espacio, en forma de una esfera que crece y aumenta su tamaño a razón de 344 metros por segundo, la que es, efectivamente, la velocidad de transmisión del sonido en el aire (recientemente a esta velocidad se le identifica como Mach, es decir 1 mach=344 m/seg. Mach fue un sabio austríaco que estudió principios sonoros y aerodinámicos).

Velocidad de la perturbación

Debe quedar bien claro que lo que se transmite en esferas crecientes y concéntricas es tan sólo el movimiento de vaivén, y no las partículas del aire en su conjunto, ya que, en forma similar a la fuente sonora, su movimiento es en un pequeñísimo espacio que alcanza sólo a mínimas fracciones de milímetro. De este modo las esferas serían, una que nos representa la compresión de las partículas del aire, inmediatamente atrás vendría la esfera de rarefacción, atrás de nuevo otra de compresión y así sucesivamente. Las esferas crecen porque la perturbación se transmite, pero las partículas aéreas sólo van y vienen. De no ser así, si fuese el aire el que se moviera en una sola dirección el cuerpo vibrante crearía viento... más bien destrucción total, pues 1 mach=1,200 km./hora y un huracán tiene apenas unos 150 km./h.

Figura II.1 Transmisión del sonido en el aire.

La figura nos muestra en forma esquemática lo que sucede en el aire, los círculos oscuros son un corte de la esfera en su zona de compresión, los círculos claros en su zona de rarefacción. Las moléculas de aire se mueven solamente de una zona de compresión a un de rarefacción en forma de vaivén y esto sólo alcanza milésimas de milímetro.

Percepción auditiva del sonido

3. El receptor humano: el movimiento de vaivén de las partículas de aire llega finalmente al oído, donde se repite el f nómeno de la fuente sonora pero en sentido inverso: ahora son las partículas de aire las que mueven al tímpano del oído comunicándole la vibración que recibieron a su vez de la fuente sonora. El oído transforma este movimiento en corriente nerviosa y cerebralmente se identifican el origen y atributos del sonido recibido.

Atenuación sonora en el espacio

El movimiento de las partículas de aire se va debilitando naturalmente conforme avanza la perturbación sonora, por la fricción entre ellas, hasta que finalmente se pierde en el espacio. Esta pérdida es rápida, pues el sonido se atenúa en razón directa del cuadrado de la distancia, es decir, que si en un metro se atenuara una unidad, en dos metros se atenuará cuatro veces en vez de dos, en tres metros, nueve veces, y así sucesivamente hasta desaparecer.

Es obvio que faltando cualquiera de los tres elementos descritos, el sonido no se hace presente al ser humano.

b) La onda senoidal.

Para comprender claramente los fundamentos de la vibración sonora y ejemplificar con sencillez, fabriquemos rápidamente, con la facilidad que nos brinda la imaginación, un aparato productor de ondas sonoras y que además nos dibuje su representación gráfica.

Si el fenómeno podemos comprenderlo con sólo observar la figura, habremos hecho un avance importante, pues a lo largo del libro se usará profusamente esta forma de representación.

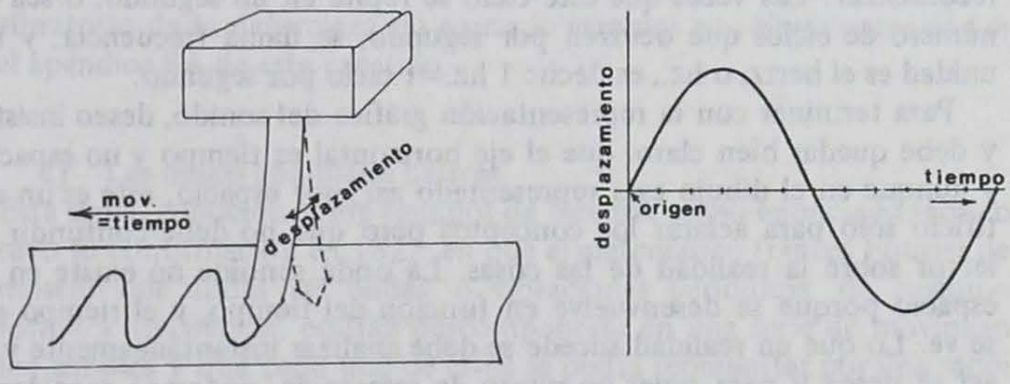


Figura II.2 Representación gráfica de una oscilación simple: la senoide.

La onda senoidal

El sistema de ejes de referencia

La amplitud

Nuestro aparato consta de una lengüeta metálica, (aunque un péndulo daría el mismo resultado). Esta lengüeta dibuja en su extremo su posición instantánea sobre el papel de abajo, que se mueve en la dirección indicada por la flecha. Al jalar y soltar la lengüeta y poner en movimiento al papel, se dibujará una curva característica, la que ampliada y con más detalle se presenta a la derecha. Esta figura recibe el nombre de "senoide" y en su representación aparecen dos líneas de referencia: la línea horizontal corresponde al tiempo transcurrido para que el papel recorra cierto espacio, la línea vertical corresponde a la posición de la lengüeta en cada instante y está siempre en correspondencia directa con la línea de tiempo, pues para cada posición de la lengüeta corresponde cierto tiempo transcurrido y viceversa. Tal posición se conoce como amplitud de la onda. El cruce de las dos líneas o ejes, se llama origen, puesto que a partir de allí se comienza a contar el tiempo y a registrar la vibración, y los valores de ambas líneas están referidos a él estando en relación directa a la posición inicial o de equilibrio estático (es decir, reposo) de la lengüeta.

Representación gráfica del fenómeno físico

Se puede observar que cuando la lengüeta se mueve en un sentido, dibuja la curva en la parte de arriba de la línea o eje de tiempo, por convención, a esto se le da un valor positivo y correspondería a la compresión de las partículas del aire. Después se regresa, rebasa el punto de equilibrio original y viaja por abajo del eje de tiempo en sentido contrario o negativo, que correspondería a la rarefacción de las partículas del aire. Esto es convencional y podría ser al revés de convenirse así. Lo importante es el concepto físico que representa la onda senoidal.

Ciclo de la senoide

La frecuencia

Nótese también, que después de cierto tiempo la curva vuelve a repetirse, esto significa que un viaje de "ida y vuelta" de la lengüeta ha terminado y se va a iniciar el siguiente. En otras palabras, una compresión y rarefacción aérea han terminado y el ciclo, que así es su nombre, va a recomenzar. Las veces que este ciclo se repite en un segundo, o sea el número de ciclos que ocurren por segundo, se llama frecuencia, y su unidad es el hertz, o hz., es decir: 1 hz.=1 ciclo por segundo.

Para terminar con la representación gráfica del sonido, deseo insistir y debe quedar bien claro, que el eje horizontal es tiempo y no espacio y aunque en el dibujo está representado así, por espacio, este es un artificio sólo para aclarar los conceptos pero que no debe confundir al lector sobre la realidad de las cosas. La onda senoide no existe en el espacio porque se desenvuelve en función del tiempo, y el tiempo no se ve. Lo que en realidad sucede se debe analizar instantáneamente y si así se desea y para tener un punto de referencia, podemos considerar que estamos ubicados en el tímpano del oído, que no es sino un registrador o detector de cambios de presión atmosférica. Allí veríamos con claridad que la presión del aire aumenta y disminuye en función del tiempo, moviendo al tímpano conforme a estas variaciones de presión... y nada más.

Se entiende, también, que para que el movimiento de la lengüeta sea audible tendrá una frecuencia de entre 16 hz. y 16,000 hz. (puede pensarse en un diapasón de horquilla, por similitud).

Concepto de fase

Conviene definir el concepto de fase, que se usará más adelante y que corresponde simplemente a la fracción del ciclo que ha transcurrido a partir del origen o también a partir de que el cuerpo vibrante pasó por su punto de amplitud o desplazamiento cero. La fase se expresa en fracción de ciclo, por ejemplo: medio ciclo, un cuarto de ciclo, etc. Más usualmente se habla de diferencia de fase entre dos o más ondas que aparecen simultáneamente y así se dice que entre una onda y otra hay una diferencia de fase de por ejemplo, un cuarto de ciclo, como se observa en la figura, donde las dos ondas senoidales mostradas ocurren en el aire con esa diferencia de fase entre ellas.

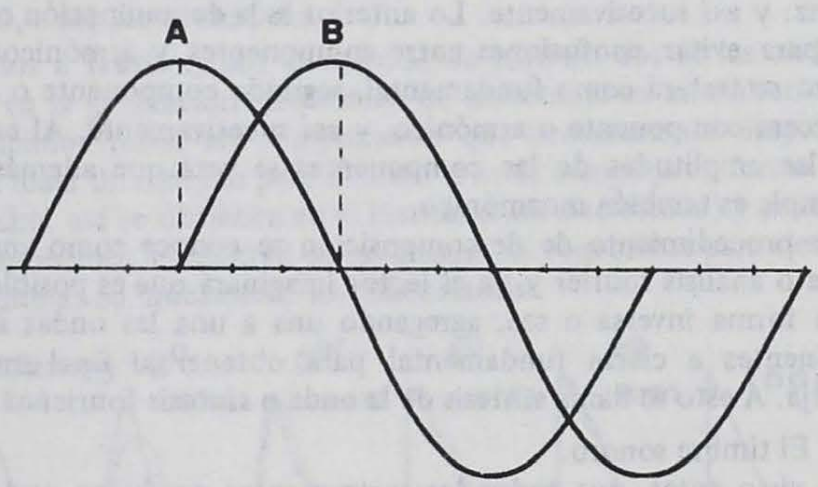


Figura II.3 Dos senoides con diferencia de fase de un cuarto de ciclo.

La forma de oscilación más importante en la naturaleza: la senoide

La onda senoidal o senoide, nos describe un movimiento periódico, es decir, que se repite en forma idéntica de ciclo en ciclo. Este es el movimiento más simple y el más importante y significativo en la naturaleza; presente en el calor, la luz, la electricidad y en todo movimiento vibratorio de la naturaleza tal como lo veremos con cierta extensión en el apéndice 8A de este capítulo.

c) Las ondas complejas básicas.

Las ondas complejas están compuestas de senoides

Esta onda, conocida desde tiempos de Newton como enunciado teórico, tuvo su confirmación en 1822, en que el matemático francés Fourier demostró que todas las ondas o vibraciones periódicas de cualquier forma y frecuencia, podían descomponerse en una serie de movimientos simples y que cada uno de estos se podía representar por una senoide. Aún fueron necesarios 50 años más para que Helmholtz en Alemania, demostrara prácticamente que todas las ondas sonoras, por complejas que sean, pueden ser descompuestas en una serie de sonidos puros senoidales. Como en tantos otros casos, la predicción teórica antecedió a los resultados prácticos por muchos años. Las senoides sonoras no se solían oir hasta antes del advenimiento del oscilador electrónico y aunque la flauta en su registro alto da un sonido casi senoidal, todos los demás instrumentos orquestales producen sin excepción, ondas complejas.

Esta descomposición de cualquier onda compleja en varias senoidales tiene además otra característica, y es que las componentes son múltiplos exactos de la frecuencia más baja o fundamental y reciben el nombre de armónicos de ésta.

Por vía de ejemplo, supongamos que una contralto da una nota: el La_3 de 220 hz., onda compleja por supuesto. Si la descomponemos en senoides puras, la primera senoide será la fundamental de los 220 hz., la segunda componente o primer armónico será una senoide de 440 hz., la tercera componente o segundo armónico será otra senoide, ahora de 660 hz., le seguirán la cuarta componente con 880 hz., la quinta con 1100 hz. y así sucesivamente. Lo anterior es la denominación correcta, pero, para evitar confusiones entre componentes y armónicos, en lo sucesivo se tratará como fundamental, segunda componente o armónico, tercera componente o armónico, y así sucesivamente. Al entrar en juego las amplitudes de las componentes se verá que además de ser más simple es también mnemónico.

Análisis fourier

Este procedimiento de descomposición se conoce como análisis de la onda o análisis fourier y ya el lector imaginará que es posible proceder en forma inversa o sea, agregando una a una las ondas senoides componentes a cierta fundamental para obtener al final una onda compleja. A esto se llama síntesis de la onda o síntesis fourier.

Síntesis fourier

d) El timbre sonoro.

Hemos visto antes, que todos los instrumentos producen ondas complejas, de hecho la composición de cada onda o su contenido armónico, como suele decirse, es el que da el timbre característico al instrumento en cuestión. Podríamos decir que la fundamental fija la altura del tono y los armónicos su timbre característico.

El timbre es el contenido armónico

La onda senoidal en sí, no tiene timbre, es incolora o insípida para ponerla en perspectiva con los otros sentidos, y como en la música tradicional se trabaja con sonidos de ondas complejas, es por ello que los instrumentos electrónicos que imitan a los tradicionales, deben tener capacidad de producir estas ondas complejas, pues ha quedado ya establecido en la tecnología moderna, que el uso de las (cuatro) ondas complejas básicas, con adición posterior de circuitos selectivos de los armónicos o formantes, constituye una función similar al principio de operación de los instrumentos tradicionales.

Las dos posibilidades de formación tímbrica se utilizan: por análisis y por síntesis de las ondas. Ahora que la síntesis es fácil imaginarla, pues simplemente agregando las componentes, en diferentes intensidades a la fundamental nos dará la onda con la frecuencia y el timbre deseado. El invento de Cahill y el órgano Hammond son los prototipos de este sistema, trabajando con la fundamental y hasta 8 armónicos. Este fue también el método usado por Helmholtz para confirmar los principios de Fourier.

El otro procedimiento es menos intuitivo, pues si de una onda compleja vamos a obtener la fundamental y cierto número de componentes para formar otra onda compleja "diseñada" a nuestras necesidades, es requisito:

1. Que la onda compleja que se use como "materia prima" tenga la fundamental y todas las componentes que requerimos.

2. Que dispongamos de un medio sencillo de selección para retener las armónicas deseadas y rechazar o eliminar las indeseables.

Requisito de una onda compleja para extraerle otra

Ambas cosas son de hecho realizadas por los instrumentos tradicionales, en los que un elemento vibrante (cuerda, caña...) es rico en armónicos, y una caja de resonancia realiza la selección y el rechazo de ciertos armónicos y da el timbre del instrumento.

Ondas complejas básicas

Estas ondas "materia prima" son cuatro fundamentalmente: la onda cuadrada, la onda triangular, la onda rampa o diente de sierra y la onda impulso, o simplemente pulso.

Vamos a fabricar, por el método de síntesis, dos de las ondas más usadas en la generación electrónica de timbres, si en su elaboración les introducimos todas las componentes que necesitaremos después, nos bastará idear un método para obtener la onda compleja en forma directa (de hecho, así se obtienen en el instrumental electrónico) y ya sabemos que disponemos a voluntad de los armónicos requeridos para cierto timbre, eliminando únicamente los innecesarios.

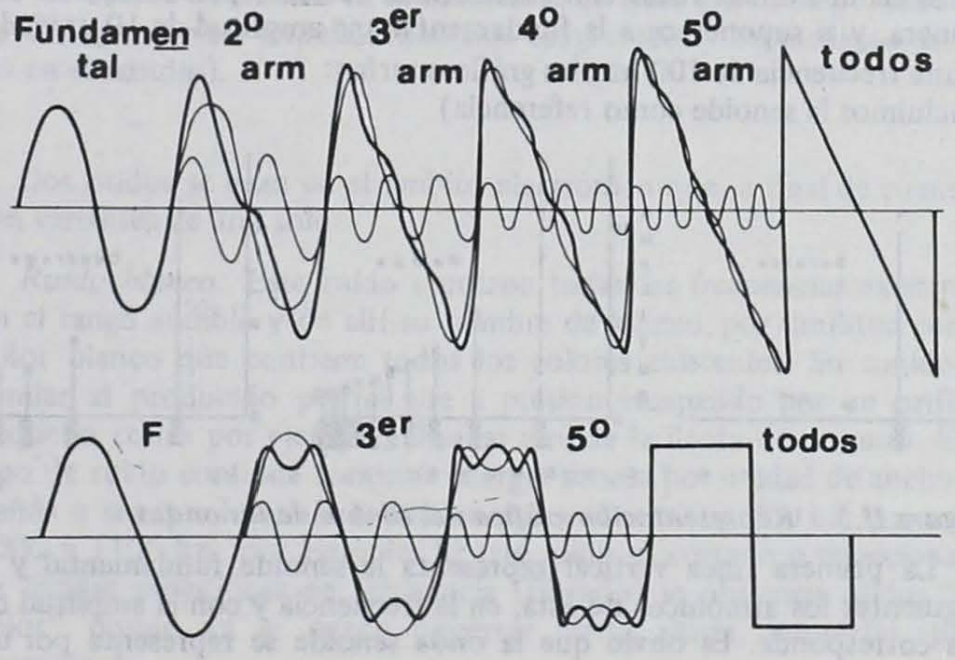


Figura II.4 Formación de las ondas rampa y cuadrada.

Contenido armónico de las cuatro ondas complejas "básicas"

Observando la forma de construcción para estas dos ondas, se nota que fue en la forma siguiente:

Rampa: Fundamental + 2a. componente + 3a. componente + 4a. componente + 5a. componente + ...

Cuadrada: Fundamental + 3a. componente + 5a. componente + 7a. componente + 11a. componente + ...

O sea que la onda rampa contiene la fundamental y todos los armónicos, pares e impares. La onda cuadrada contiene la fundamental y los armónicos impares solamente. Para completar nuestras ondas complejas usadas, agregaremos que la onda triangular contiene también los armónicos impares solamente y la onda pulso puede tener los impares solamente o todos, pares e impares, la forma final queda determinada por

los armónicos, sus intensidades y las fases correspondientes con que entran en combinación. En términos generales, los armónicos van disminuyendo en intensidad conforme se progresa en frecuencia.

La fase altera la forma de onda sin cambio en el timbre

Algunos textos antiguos de acústica musical traían las "formas de onda" para cada instrumento tradicional. Pero con un simple cambio en la fase de alguna componente, la curva cambia totalmente aunque se siga oyendo igual, ya que el oído, excepto para ubicar el origen del sonido (como veremos adelante) es sordo a la fase como valor tímbrico.

En síntesis y para recordar con facilidad, la onda rampa y algunos tipos de pulso contienen la fundamental y todos los armónicos. La onda cuadrada, la triangular y otros tipos de pulsos, contienen la fundamental y los armónicos impares. Las intensidades de los armónicos disminuyen conforme estos son más altos.

Gráfica simplificada del timbre

Existe una forma más simple de representación gráfica de las ondas complejas, que nos permite una apreciación completa de su estructura armónica al primer golpe de vista. En estas gráficas, el eje horizontal representa la frecuencia en hz. y el eje vertical la amplitud de las ondas, es decir, hemos sustituido el eje de tiempo por frecuencias.

Si las dos ondas vistas con anterioridad fueran representadas de esta manera, y si suponemos a la fundamental una amplitud de 10 unidades y una frecuencia de 100 hz., las gráficas serían:
(incluimos la senoide como referencia)

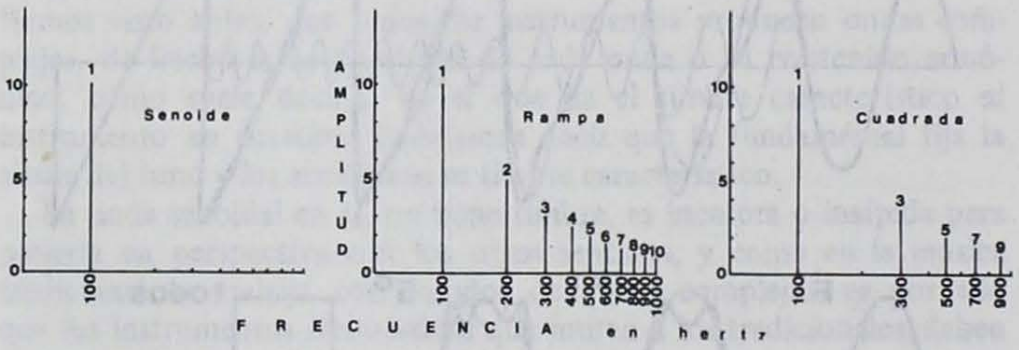


Figura II.5 Representación gráfica del timbre de las ondas.

La primera línea vertical representa la senoide fundamental y las siguientes los armónicos de ésta, en la frecuencia y con la amplitud que les corresponde. Es obvio que la onda senoide se representa por una sola línea y se puede considerar que no tiene timbre, pues su contenido armónico es nulo.

Estructura armónica desordenada, igual a ruido

Ahora bien, la pregunta surge naturalmente ¿qué sucede si en nuestra síntesis en vez de agregar frecuencias múltiples de la fundamental las vamos agregando sin ninguna relación de multiplicidad respecto a ella?, bueno, iremos obteniendo una oscilación desordenada que irá poco a poco perdiendo la identificación de su altura o frecuencia fundamental y que además perderá su periodicidad, es decir, no se repetirá en forma idéntica de ciclo en ciclo: habremos fabricado ruido.

e) El ruido.

Más complejo que el sonido de una orquesta de cien instrumentos y durante mucho tiempo considerado como indeseable y no musical, es el ruido. En el presente, sin embargo, se usa ya con tanta profusión,

como para considerarlo parte integrante de los recursos musicales. Repetimos: la distinción privativa del ruido es que no es posible discernir su frecuencia fundamental por estar variando sus componentes de frecuencia continuamente. Tales componentes por otro lado no son armónicos naturales, pues al no existir la fundamental, la relación es inexistente.

El ruido se ha usado en forma muy limitada

Hay en la orquesta instrumentos destinados a producir expresamente ruidos, como los timbales, platillos y muchos otros de género popular que aparecen en la músical regional. Debe admitirse, sin embargo, que su participación hasta la fecha, aunque importante, ha sido limitada en la música clásica.

Otra cosa puede decirse de la música electrónica o si se desea, desde los ruidores de Russolo, donde el ruido toma carta de derecho en la música.

Los ruidos existentes en el estudio de música electrónica

No todos los ruidos son iguales... bueno, esto es obvio, nos referimos más bien a los ruidos que se obtienen en el estudio electrónico con fines musicales y que pudiéramos llamar ruidos básicos y no a los millones de ruidos existentes en la naturaleza (y que, sin embargo, muchos de ellos pueden ser imitados mediante estos ruidos y los medios existentes en el estudio).

Dos ruidos se usan en el ámbito electrónico que, a final de cuentas, son variantes de uno solo:

Ruido blanco

Ruido blanco: Este ruido contiene todas las frecuencias existentes en el rango audible y de allí su nombre de blanco, por similitud con el color blanco que contiene todos los colores existentes. Su sonido es similar al producido por el aire a presión escapando por un orificio pequeño como por ejemplo, al sacar aire de la llanta de un auto. Este tipo de ruido contiene la misma energía sonora por unidad de ancho de banda o sea que habrá la misma energía entre 100 y 200 hz. que entre 1000 y 1100 hz. por ejemplo. Si este ruido es cortado o seleccionado en bandas específicas de frecuencia (filtrado) se obtienen ruidos "de color" donde ya se puede discernir cierta altura, imprecisa, pero aproximada.

Ruido rosa

Ruido rosa: Este ruido contiene también todas las frecuencias audibles existentes, y su nombre de rosa proviene de que la probabilidad de ocurrencia de una onda está concentrada en las bajas frecuencias (su sonido es como de truenos lejanos), también por similitud con los colores, pues el rosa se halla en la parte baja del espectro luminoso, con una dosis de blanco que contiene, como la luz, todas las frecuencias audibles.

En términos un poco más técnicos, el ruido rosa contiene igual energía sonora por octava, esto significa que se tendrá la misma energía entre 100 y 200 hz. que entre 1000 y 2000 hz. y de allí se entiende su sonoridad baja, pues en el rango audible predominan las bajas frecuencias, como el rojo en la luz.

f) La resonancia.

Las fuentes sonoras, por lo general no se "acoplan" bien al aire, por su pequeña superficie

Para comprender la resonancia conviene volver un poco atrás, a las fuentes sonoras que producen ondas complejas. En términos generales, ellas no son capaces de producir un sonido con suficiente intensidad como para que tenga valor musical, piénsese en una cuerda al aire, en una caña o un boquilla sin sus instrumentos correspondientes. El sonido existe, pero por un lado su volumen es muy bajo, pues su superficie de contacto con el aire es tan pequeña que no alcanza a mover suficientes moléculas; y por el otro, la onda compleja producida carece de atractivo e inclusive puede llegar a ser ríspida en su sonoridad. La situación cambia drásticamente si esta fuente sonora la unimos a un cuerpo que tenga una gran superficie y pueda así mover gran cantidad de moléculas de aire.

Todos hemos tenido la experiencia de hacer vibrar un diapasón, y acercándolo a otro de la misma nota, pero en reposo, observar cómo éste último se pone a vibrar también, sin llegar a tocar al primero. (De paso anotamos que el inventor del diapasón fue John Shore en 1711 quien confesaba: no soy entonado, pero puedo suplirlo con un producto de mi ingenio, el diapasón).

Tal fenómeno, llamado de resonancia, se ha aplicado repetidas veces en la historia para reforzar sonidos, como los vasos griegos y romanos (echeia, según Vitruvius) que se usaban en los teatros para reforzar el volumen de ciertas frecuencias consideradas importantes en la representación, también en ciertos instrumentos antiguos (vihuela, viola d'amore) donde se colocaban pares de cuerdas afinadas al unísono.

En la resonancia un cuerpo comunica a otro su vibración

El fenómeno de resonancia, donde un cuerpo vibrante comunica a otro su vibración y los dos vibran como un solo sistema se presenta tanto en resonancia a una sola nota (como los resonadores de la marimba, algunos tubos de órgano), como en resonancia a varias notas.

El resonador más sencillo es una esfera hueca con un hoyo al exterior. Con él, Helmholtz analizó las ondas complejas, haciéndolas sonar frente a los resonadores y oyendo cuales de tales resonadores se ponían a vibrar, acercando al extremo A a la fuente sonora compleja y colocando el B al oído.

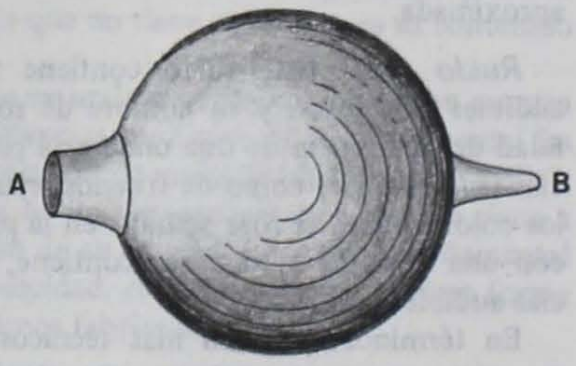


Figura II.6
El resonador de Helmholtz.

Procediendo en esta forma se lograba indentificar la frecuencia de la fundamental y las de los armónicos. Por supuesto que en el presente existen los llamados analizadores de espectro armónico, que proporcionan la fundamental y todas sus armónicas de una sola vez y con sus valores precisos.

Cuando en un salón se produce algún sonido y como resultado algún objeto se pone a vibrar, este objeto es un resonador y su "frecuencia de resonancia" es la misma de la del sonido que lo puso en vibración. Son conocidos los casos en que se rompen objetos (normalmente copas o vasos) haciéndolos resonar con la voz o con algún instrumento y llevándolos en su intensa vibración más allá de su equilibrio elástico. Quizá el caso más espectacular conocido, lo cita un tal Morhof (Kiel, 1672), sobre un tabernero que, previa selección cuidadosa de ciertos vasos, pudo llegar a romper hasta 25 en media hora con notas dadas vocalmente y variando suavemente la frecuencia hasta percibir la de resonancia de los vasos reforzando enseguida el volumen hasta hacerlos estallar.

Ruptura de copas por resonancia

Más común es el caso en que los resonadores lo hacen a varias frecuencias, como en los instrumentos musicales, presentando una intensidad más pronunciada en grupos especiales de tales frecuencias. Normalmente su superficie de vibración es grande y pueden mover gran número de partículas de aire, por lo que su volumen es alto.

Un punto importante debe ser comprendido: si un cuerpo vibrante se oye débilmente (como el diapasón) y su intensidad aumenta considerablemente al colocarlo sobre un resonador, ¿significa esto, que el resonador aportó energía propia para lograr tal aumento de volumen? La respuesta es no. En el sistema vibrante-resonante no hay más energía que la que aporte el primero, el resonador sólo mejora la radiación en el aire al tener una superficie mayor y mover más moléculas por unidad de tiempo. Esto tiene un precio que pagarse y el cuerpo vibrante durará menos tiempo vibrando con un resonador que si lo hiciese libremente, lo cual es fácil de confirmar si medimos el tiempo de vibración del diapasón al aire y acoplado al resonador. En este último caso el tiempo de vibración disminuirá considerablemente porque la energía se disipa en el esfuerzo para mover las moléculas de aire en contacto con el resonador y su gran superficie.

El resonador no aporta energía

El principio de resonancia es utilizado prácticamente en todos los instrumentos musicales y la voz humana como único medio de lograr un buen "acoplamiento" con el aire, el que a su vez transmitirá esta energía al receptor final de todos los sonidos y que veremos ahora en detalle:

3. Aplicación práctica: *El oído como receptor sonoro*

El oído

Con los conceptos estudiados hasta el momento, estamos ya en posición de comprender los complejos fenómenos del sentido de la audición. Nuestra descripción del oído será más bien funcional que anatómica, ya que nuestro interés está centrado en su aspecto puramente musical.

A. Estructura y funcionamiento.

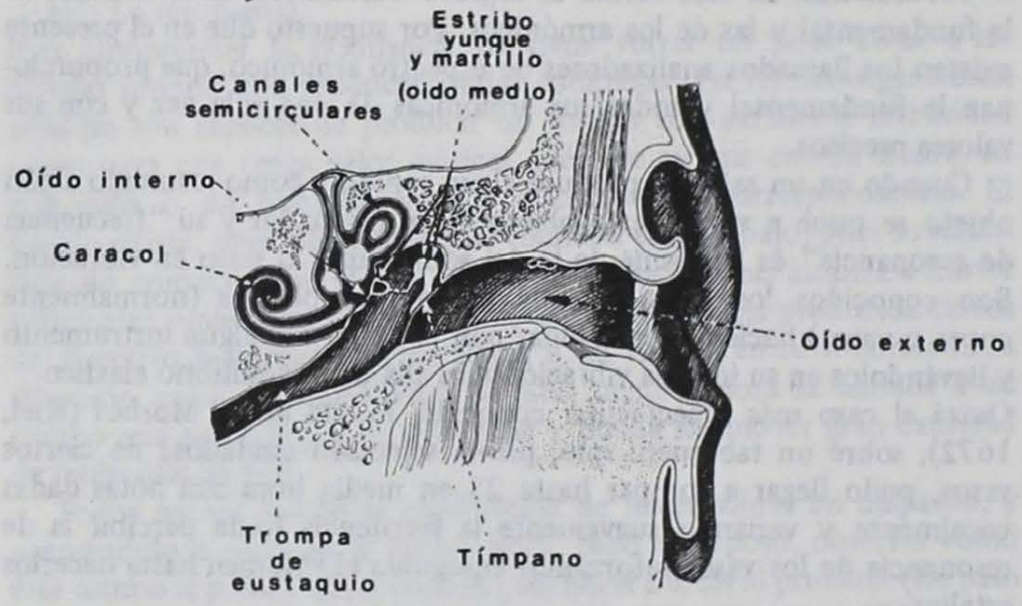


Figura II.7 Esquema del oído humano.

La figura nos muestra esquemáticamente las tres partes de que está formado el oído, cuya descripción y funcionamiento estudiaremos:

El oído externo: pabellón, conducto auditivo y tímpano

El oído externo está encargado de tomar las vibraciones del aire, concentrándolas y dirigiéndolas por medio del pabellón de la oreja hacia un conducto tubular cuya terminación es el tímpano –que es una membrana que cierra totalmente el conducto– de forma ligeramente elíptica y que vibra al recibir las compresiones y rarificaciones del aire, portador de los sonidos producidos en el exterior. El tímpano está formado por el mismo tejido del conducto auditivo y se parece más a una sombrilla con varillas de refuerzo, que a un diafragma de hule tenso.

Sensible en altísimo grado, se estima que un movimiento de un cienmillonésimo de milímetro –en la frecuencia de 1000 hz.– ya produce una sensación sonora.

El oído medio: huesecillos y trompa de Eustaquio

El oído medio está lleno de aire a la presión atmosférica imperante y consta de varias partes. Por un lado, un sistema de tres huesecillos que son los encargados de transmitir los movimientos del tímpano al oído interno. Sus nombres son: martillo, yunque y estribo, por su similitud con esos objetos y transmiten, en ese orden, la vibración sonora. Estos son los tres huesos más pequeños del organismo y su tamaño es como el de las letras mayúsculas de esta página. El estribo termina conectado a una membrana que cierra la entrada al oído interno y que produce ondas de compresión y descompresión, similares a las del aire, en el líquido que llena esta tercera parte del oído.

Los huesecillos son un sistema amplificador a base de palancas, y la presión ejercida por el estribo sobre la membrana (y por lo tanto sobre el líquido del oído interno) es de 30 a 60 veces mayor que la ejercida por las ondas sonoras sobre el tímpano.

Por otro lado, en el caso de un estímulo sonoro intenso o en casos de sonidos apenas perceptibles, el sistema de huesecillos, en combinación con un pequeño músculo, alterarán la respuesta auditiva, protegiendo y amortiguando el movimiento en el primer caso y tensando el tímpano en el segundo, para mejorar su eficiencia de percepción.

La trompa de Eustaquio es un canal que comunica a la garganta con el oído medio. Normalmente cerrado, se abre al deglutir o bostezar y permite igualar la presión entre el oído medio y el externo (presión atmosférica, se entiende).

El oído interno:

El oído interno constituye la parte esencial del oído y es una de las estructuras más notables del cuerpo humano. Consta de tres partes mayores, la primera es el vestíbulo, que sirve de entrada a los canales semicirculares y al caracol o coclea. Los canales semicirculares son tres tubos encorvados como herraduras, orientados en los tres sentidos espaciales, están abiertos al vestíbulo en sus extremos y son los encargados del sistema de equilibrio del cuerpo, por esta razón no los trataremos.

canales semicirculares

y caracol

El caracol es una estructura en espiral que da dos vueltas y tres cuartos. En un corte transversal de la sección del caracol, se puede ver que está dividido en tres tubos separados por la membrana basilar y la membrana de Riessner. Estos tres tubos marchan en forma paralela, enrollados a todo lo largo del caracol.

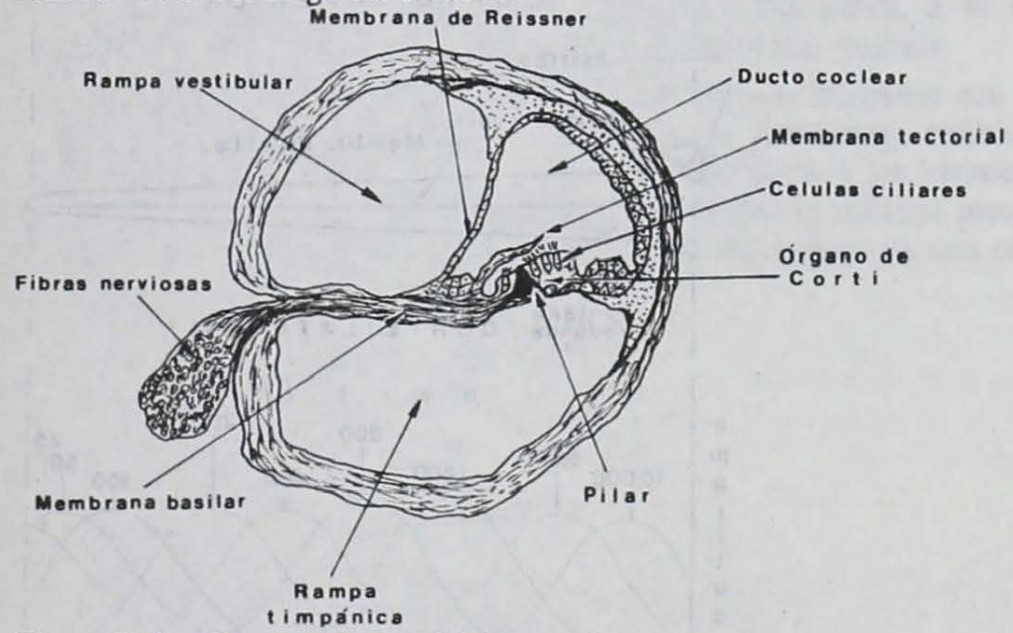


Figura II.8 Corte transversal del caracol.

La membrana basilar es gelatinosa y está unida al llamado órgano de Corti (en honor del histólogo italiano que lo descubrió en 1851), que recibe las terminales nerviosas procedentes del cerebro. Estas terminales son en número aproximado 4,000, están arregladas en un cable nervioso como de 1 mm. de diámetro y se prolongan hacia el exterior en unas 23,500 células sensoriales ciliares (o pilosas) en dos grupos: interiores y exteriores (respecto al hueso llamado pilar), las que terminan en unos 14 vellos o pestañas por cada célula, proyectados en el líquido del canal coclear. Sobre estas pestañas y tocándolas ligeramente se halla la membrana tectorial.

B. La percepción auditiva y sus características.

Si desenrollamos el caracol, su estructura es similar a la que se muestra en la figura siguiente (presentamos aquí los hallazgos de Georg Von Békésy y sus teorías de la audición).

El caracol es el detector y analizador de las ondas sonoras

El estribo, al moverse sobre la membrana del caracol, llamada ventana oval, crea ondas de compresión y descompresión en el líquido que lo llena. Los movimientos del líquido son comunicados a la membrana basilar y sus partes asociadas, las que se ponen a vibrar, a su vez, como un todo, produciéndose un efecto de resonancia en función de la, o las frecuencias recibidas, vibrando a su vez en diferentes lugares de su extensión, de tal modo que las frecuencias altas producen ondas de amplitud máxima cerca del estribo y las frecuencias bajas hacia el final del caracol.

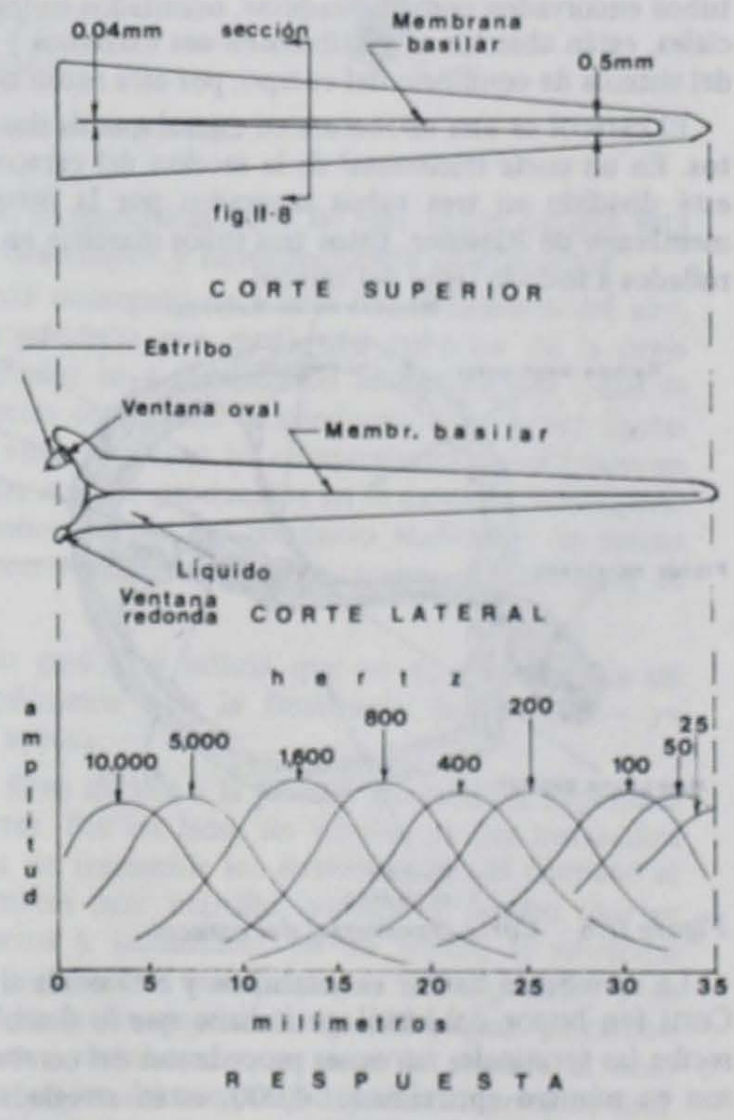


Figura II.9 Respuesta del caracol a las diferentes frecuencias.

Esto es compatible con las dimensiones de la membrana basilar, que es más angosta y rígida a la entrada y más amplia y suave al final del caracol.

De hecho, la membrana basilar es un sensor o filtro que detecta los sonidos y los separa en sus componentes conforme a la vibración descrita, la que resulta en una excitación vigorosa de ciertos grupos de nervios, en función de la frecuencia recibida. Esta detección es realizada por el oído en forma mucho muy atenuada y aparentemente es el cerebro el que afina o amplifica mentalmente la señal de resonancia recibida.

La figura anterior nos muestra la resonancia de la membrana basilar para las frecuencias indicadas.

La presión creada en el líquido y que se inicia en la ventana oval, por el movimiento del estribo sobre ella (mide unos tres milímetros cuadrados), viaja a través del caracol y llega finalmente a la ventana redonda, una membrana de unos dos milímetros cuadrados, que es la encargada de atenuar o aliviar elásticamente tal presión.

El cable nervioso viaja al cerebro y llega a las dos cortezas auditivas portando las señales nerviosas codificadas (en clave) en forma similar al resto de la red nerviosa del cuerpo.

Análisis armónico en la membrana basilar

Como vimos antes, las ondas complejas están formadas por conjuntos de ondas senoidales. Aparentemente en la membrana basilar y partes asociadas, se realiza una especie de análisis fourier de modo que cada componente de la onda excitará una parte de la membrana afectando a sus células ciliares correspondientes. Cada célula, a su vez, entregará a su nervio la información sobre la vibración recibida.

Función de las células ciliares

Adicionalmente, se sabe que las células ciliares interiores son las especializadas en discriminar o reconocer las frecuencias recibidas, enviando directamente su señal al cerebro, quedando a las exteriores aparentemente, la función de determinar el umbral (o mínima percepción) auditivo y la capacidad de separar las componentes de una onda compleja.

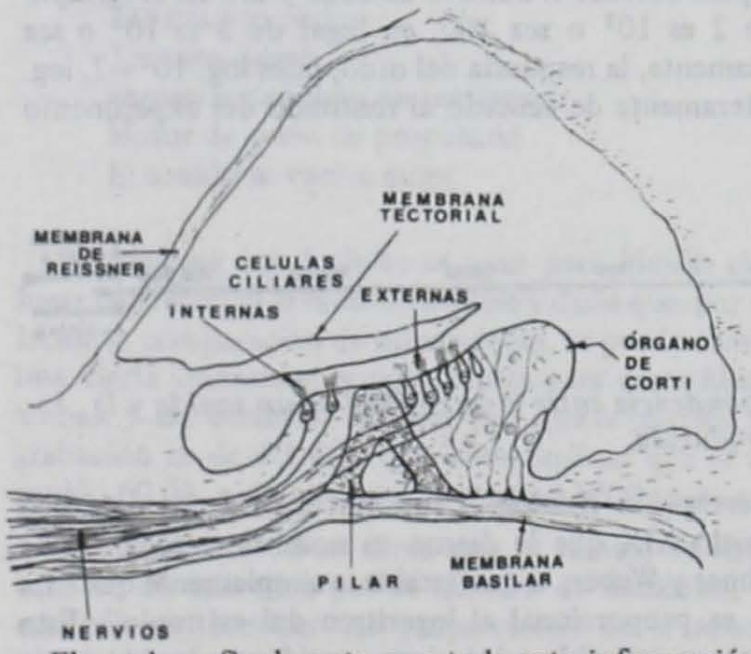


Figura II.10 Células ciliares interiores y exteriores.

El cerebro, finalmente con toda esta información, la integra e interpreta el sonido recibido y sus características, cerrándose el ciclo de percepción auditiva.

En una búsqueda realizada personalmente en revistas científicas recientes para extender y actualizar la información al respecto, se hallaron reportes de los experimentos que se indican:

a) La destrucción (provocada) de las células y pestañas sensoriales del órgano de Corti, afecta seriamente el reconocimiento de las frecuencias.

b) El núcleo del caracol tiene estructura fonotópica y está arreglada de modo que las señales de frecuencia alta, media y baja, activan las partes dorsal, media y ventral del núcleo del caracol en una relación aproximada de 1.5 octavas por milímetro de tejido.

c) Datos unitarios, tanto de preparaciones descerebradas, como de anestesiadas, indican que las neuronas del núcleo coclear, están arregladas sistemáticamente conforme a las frecuencias acústicas a las cuales son más sensitivas.

El mecanismo auditivo que acabamos de ver es notable en su estructura y capaz de responder en un rango de intensidades del orden de un millón de millones de veces entre el sonido apenas perceptible por el oído y el más intenso, en el inicio del dolor.

Respuesta geométrica del oído a la intensidad sonora

Se ha descubierto, asimismo, que el oído en particular y el organismo humano en general, responden a los estímulos externos en forma geométrica y no aritmética, es decir, que si a una persona se le hace oir un sonido con una intensidad de 10 unidades sonoras y se le pide que lo haga sonar, mediante mecanismos controlados por él, al doble de su valor, luego al triple y así en forma sucesiva; las intensidades no obedecerán a una progresión de 10, 20, 30, 40, etc. sino que serán 100, 1000, 10,000, etc. Esta respuesta fisiológica del organismo humano a los estímulos exteriores es netamente logarítmica (recordemos que el logaritmo es el exponente o potencia a que hay que elevar la base, en nuestro caso 10, para obtener el número deseado y así, en el ejemplo anterior en lugar de 2 es 10^2 o sea 100, en lugar de 3 es 10^3 o sea 1,000. Así es, precisamente, la respuesta del oído, pues log. $10^2=2$, log. $10^3=3$; que está enteramente de acuerdo al resultado del experimento anotado).

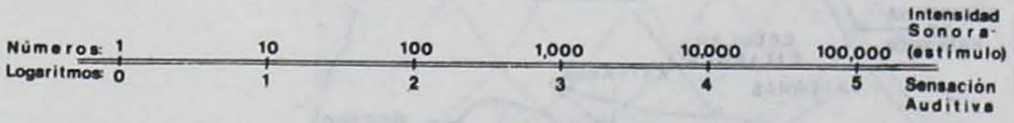


Figura II.11 Correspondencia entre la intensidad de un sonido y la sensación auditiva producida.

La ley de Fechner y Weber

Esta forma de percepción fisiológica fue descubierta por un físico y un fisiólogo del siglo XIX que le dieron su nombre, y es conocida como la ley de Fechner y Weber, la que establece simplemente que "La sensación percibida es proporcional al logaritmo del estímulo". Esta ley es muy importante y aplicable a los cinco sentidos en la vida diaria y se puede comprender fácilmente con el experimento y la figura anteriores.

Ahora bien, si el organismo percibe en forma logarítmica, es sólo natural el trabajar con unidades de la misma índole para medir las sensaciones. En el caso de las intensidades sonoras esta unidad se llama bel, en honor de Bell, el inventor del teléfono (1876), y corresponde exactamente a la escala inferior de la figura o sea a la sensación auditiva.

Cuando en la medición de las intensidades, deseamos dar un valor a cierto sonido, requerimos de una referencia que sirva de base de comparación para tal sonido y todos los que se deseen medir. Es lógico pensar que esta referencia sea la sensación sonora mínima percibida por el oído humano. Este nivel mínimo o umbral auditivo se ha convenido como referencia universal o estándar y a él se refieren los sonidos que se miden. Por otro lado, se ha encontrado que la décima parte del bel es una unidad que encaja perfectamente con el comportamiento del oído y representa también el mínimo cambio sonoro reconocible en condiciones normales, no de laboratorio. Esta unidad se llama decibel (se abrevia db o dB), y se usa con gran profusión en el ambiente electroacústico, definiéndose como el logaritmo de la relación, de la intensidad que se desea medir entre la intensidad base de la comparación deseada y el resultado multiplicado por 20 en el caso de intensidades $db=20 \log. (I?/I_B)$.

El decibel

Si consideramos como intensidad base el mínimo nivel auditivo, podremos darnos una idea de los niveles sonoros que ocurren rutinariamente en la vida diaria según la tabla siguiente:

Sonido:	intensidad en db:
Mínimo sonido percibido	1
Iglesia en silencio	10
Oficina promedio	50
Conversación a 1m.	65
Fábrica promedio	78
Tránsito denso	90
Orquesta sinfónica en fortíssimo	100
Motor de avión de propulsión	110
El sonido se vuelve dolor	120

No siempre los decibles se usan para indicar el nivel sonoro de un lugar con relación al mínimo audible y dado que, por definición, es una relación o comparación de intensidades, se puede cambiar la base y referir una cierta intensidad sonora a otra para darse idea de la magnitud de ambas, y así decimos, por ejemplo, que la relación señal a ruido de una grabación es de 60 db., queriendo indicar que el ruido está abajo del sonido 60 db. o sea con una intensidad 1000 veces menor.

Normalmente no se toma uno el trabajo de hacer el cálculo y más bien se da uno idea por el número de decibeles, por lo que es muy conveniente conocer las proporciones de la relación para los casos que se presenten. La tabla siguiente nos indica algunas relaciones entre dos intensidades y el número de decibeles correspondientes a tal relación. La idea es dar al estudiante una noción más o menos pre-

cisa de la magnitud de los decibeles que se encontrará en la práctica, sin necesidad de ningún cálculo matemático.

Relación de intensidades	decibeles
1:1	0
1:2	6
1:3	10 aprox.
1:4	12
1:5	14
1:8	18
1:10	20
1:100	40
1:1,000	60
1:10,000	80
1:100,000	100
1:1,000,000	120

También debemos estar en guardia, pues los db. son unidades extrañas y así, si a un violinista ejecutando con una intensidad promedio de 70 db. se le une un pianista en dúo, también con un nivel promedio de 70 db., se tendrá un aumento en la intensidad, no de 70 db. sino sólo de 6 db., siendo la intensidad resultante de 76 db. con respecto a la original, correspondiendo esto a la relación 1:2 de la tabla, o sea al doble de la intensidad primera.

Los decibeles tienen otra aplicación importante: la medición de los niveles de grabación en las cintas magnéticas, casets, discos, etcétera.

Las unidades de volumen o VU

En este caso específico, la unidad utilizada es el VU o unidad de volumen (Volume Unit) que es una variante de los decibeles en la que el nivel de referencia, por acuerdo internacional de los fabricantes de equipo electrónico en 1939, se fijó como de 1 miliwatt sonoro, siendo esta referencia 0 db. y refiriendo todos los otros niveles a esta base o unidad internacional.

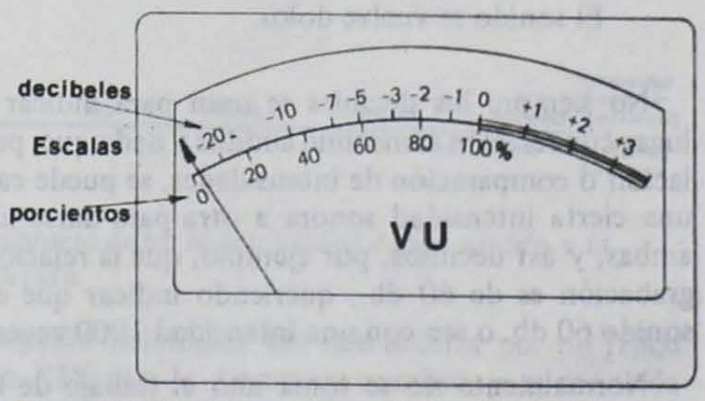


Figura II.12 Un medidor clásico de VU.

Las VU imitan la audición humana

Otra característica de los VUs, es que la aguja tiene un movimiento balístico que simula la respuesta del oído humano a cualquier intensidad sonora, indicando el nivel sonoro justo y preciso en el mismo ins-

tante en que ocurre. Esto, desde luego, en teoría, pues la aguja requiere tiempo para su movimiento y en la práctica muchos "fortissimos" que además son "brevissimos", pueden terminar antes que la aguja haya tenido tiempo de indicar el nivel máximo. En la figura, el 0 corresponde al nivel base aludido y los db. arriba y abajo a los niveles de intensidad mayores o menores de la base aludida. Los números inferiores de 0 a 100 corresponden a una escala centesimal, si se quiere en porcientos del máximo del nivel de grabación, reproducción, recepción, etcétera.

C. Atributos fisiológicos varios.

Con los conceptos estudiados estamos ya en capacidad de asimilar una serie de atributos del oído que cerrarán el estudio de este órgano. Algunos de ellos son insólitos, pero en conjunto nos darán una imagen real y lo más completa posible de su comportamiento. Como ocurren dentro del organismo humano y en forma diferente del fenómeno físico medido en el exterior, podíamos llamarlos atributos fisiológicos u orgánicos del oído.

La mayoría de los autores los denominan sicológicos, pero en mi concepto no tienen nada que ver con la mente o el alma (psiqué=alma) y simplemente corresponden a la naturaleza orgánica del sistema auditivo (fisis=naturaleza). Por lo demás, las características sicológicas humanas son esencialmente subjetivas y este no es el caso del oído, ya que su respuesta al fenómeno sonoro es lo suficientemente uniforme –aún con las variaciones inevitables entre individuos– como para extraer reglas de comportamiento que predicen con bastante exactitud lo que está sucediendo o sucederá en los seres humanos al ser sometidos a los mismos estímulos.

Atributos auditivos que difieren del fenómeno medido

En síntesis, estos atributos se refieren a un comportamiento especial del oído, en el cual las propiedades del fenómeno sonoro ocurren internamente en forma diferente al mismo fenómeno en su aspecto real y medido físicamente en el exterior y puede ocurrir que un medidor indique cierto valor, en tanto que el oído percibe el estímulo en forma muy diferente... y aún que oiga sonidos que nadie está produciendo en el aire externo.

Todos estos atributos se verán en forma muy abreviada y sólo para redondear nuestra perspectiva del fenómeno auditivo. La mayoría de los especialistas consignan *in-extenso* estas particularidades auditivas, pero la verdad es que muchas de ellas –y se advertirá en cada caso– son más académicas que prácticas y por ello más útiles a un investigador que a un estudiante de música electrónica. También debe quedar claro que todo lo visto, y lo que veremos ahora sobre el oído, es aproximado solamente y presenta variaciones entre individuos diferentes... en casos extremos no pasan de ser teorías sobre hechos que no se comprenden aún con absoluta claridad.

La serie de atributos fisiológicos que veremos son los siguientes, en el orden de presentación:

Lista de los atributos

Volumen, Altura, Encubrimiento, Ubicación auditiva, Agudeza auditiva, Persistencia sonora, Tonos subjetivos, Fatiga auditiva y finalmente Sordera.

Para abreviar el texto y simplificar la comprensión, se hará un corto enunciado o definición del atributo auditivo, pasando enseguida a una breve explicación del mismo mediante la presentación de figuras siempre que sea posible, ya que una imagen vale más que mil palabras, al decir de los chinos.

VOLUMEN: "La sensación de intensidad sonora (volumen) varía con la altura de los sonidos presentados al oído".

La sensación auditiva es menor que el valor real en las notas muy bajas y las muy altas

En otras palabras, el oído no oye igual a todas las frecuencias ya que, si este fuera el caso, todas las curvas de la figura siguiente serían líneas paralelas al eje horizontal, pues representan niveles de igual sensación de volumen sonoro para el oído humano.

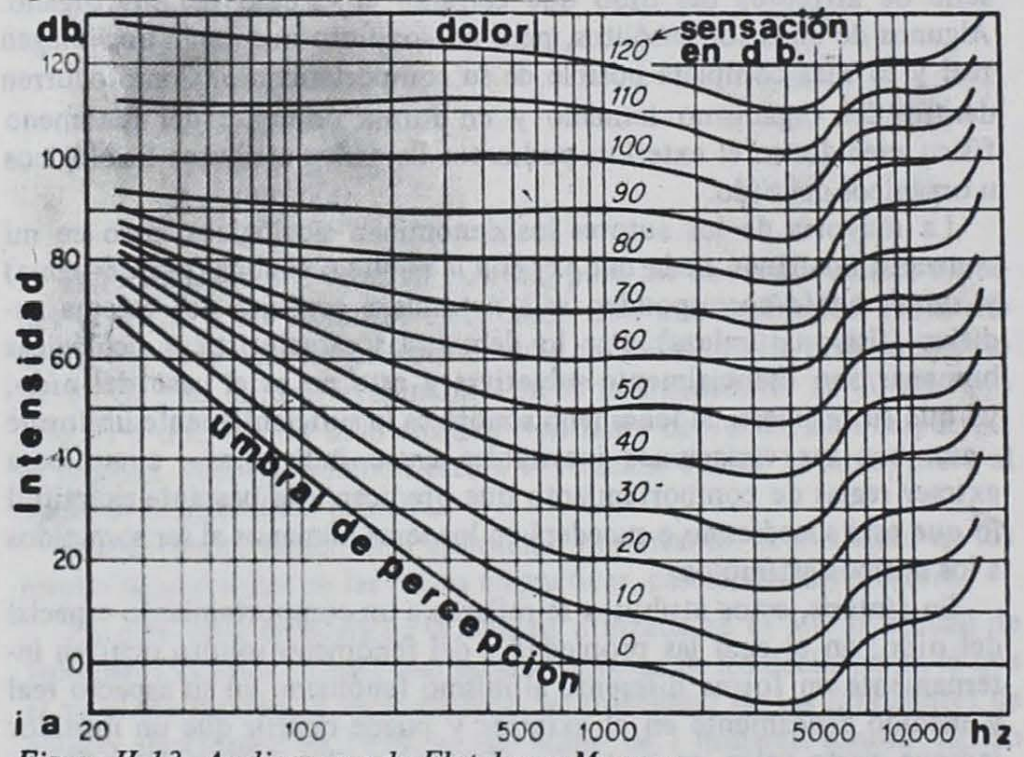


Figura II.13 Audiograma de Fletcher y Munson.

Pongamos un ejemplo para aclarar conceptos: a 100 hz., para que el oído "sienta" que la onda tiene 20 db. debe tener en la realidad 52 db. Sin embargo, a esta misma frecuencia el oído siente 100 db. cuando la onda los tiene también. En términos generales, al bajar la frecuencia de los 800 hz. y al subir más de los 6,000 hz., es necesaria más intensidad real, para que el oído sienta que no cambió esta intensidad. Entre los 800 hz. y los 1,500 hz. la sensación fisiológica es igual a la intensidad real, y finalmente, entre 1,500 y 6,000 hz. se requiere menos intensidad real que la que percibe el oído. Esto significa que el oído es más sensible en estas frecuencias y decrece arriba y abajo de estos valores, y es por ello que si un "piccolo" suena en su registro alto contra el "tutti" de la orquesta, será percibido con toda claridad. Otra conclusión es que se requiere mucho más energía en los graves para lograr una instrumentación homogénea o dicho diferente, que los instrumentos de registro grave deben aumentarse en número o tocarse más fuerte que los de registro agudo para que sean conspicuos en una ejecución de conjunto.

El oído es más sensible entre 1,500 hz. y 6,000 hz.

En las ondas complejas, se escucha la resultante

Debe recalcarse el hecho de que la gráfica fue obtenida mediante la presentación de ondas senoidales puras a los oyentes. En el caso de ondas musicales complejas habría que ubicar en el diagrama todas sus componentes con sus db. correspondientes de intensidad y obtener la resultante general. Esto convierte en impráctica la consideración y nos lleva a la advertencia previa de que el atributo no deja de ser un tanto académico, pero da un criterio válido, sobre todo si se trabaja en un estudio de música electrónica, donde las senoides son comunes y abundantes.

La edad ocasiona pérdida auditiva

Otro aspecto, aún dentro de la percepción auditiva a la intensidad sonora, es que "La edad produce pérdida auditiva, principalmente en las frecuencias altas".

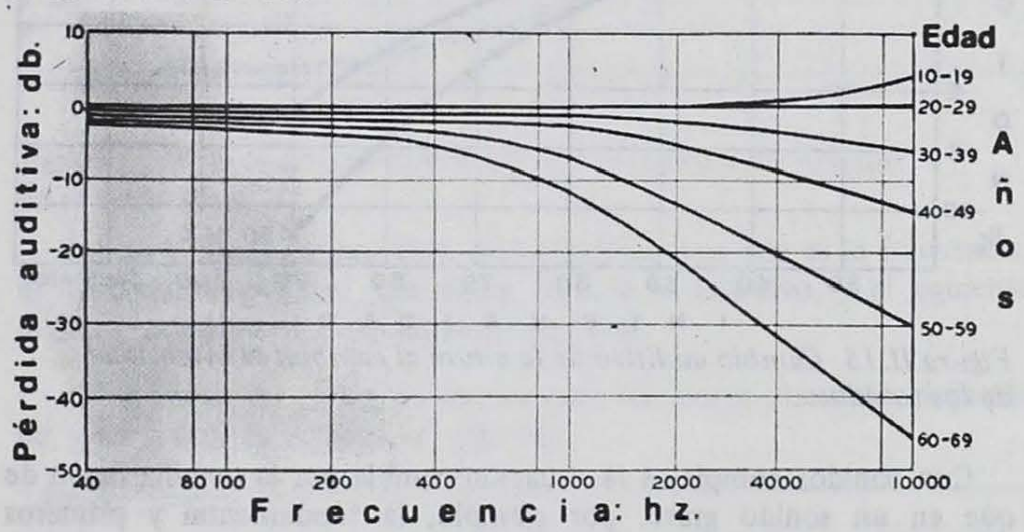


Figura II.14 Pérdida auditiva con la edad.

La curva lo indica con claridad; pero esta pérdida varía entre individuos, pudiendo haber jóvenes de 25 años con oídos ancianos y viceversa, viejos de 70 años con oídos jóvenes. Las curvas son promedio entre los extremos que puedan ocurrir en la realidad.

La sensación de altura varía con la intensidad de los sonidos

ALTURA: "La sensación de altura varía con la intensidad del sonido". Stevens demostró que al aumentar la intensidad sonora, los sonidos graves se oyen más graves y los agudos más agudos, siendo aproximadamente 2,000 hz. la frecuencia neutra o de transición. El eje vertical de la figura indica la desviación de la frecuencia en porciento, conforme la percibe el oído. Los números al final de las líneas, son la frecuencia en hz. y debe quedar claro que esta frecuencia no se alteró al subir la intensidad, sino que fue el oído el que "sintió" el cambio de altura, inexistente en la realidad. También se advierte que, al igual que la curva de Fletcher y Munson, los sonidos usados fueron senoides puras.

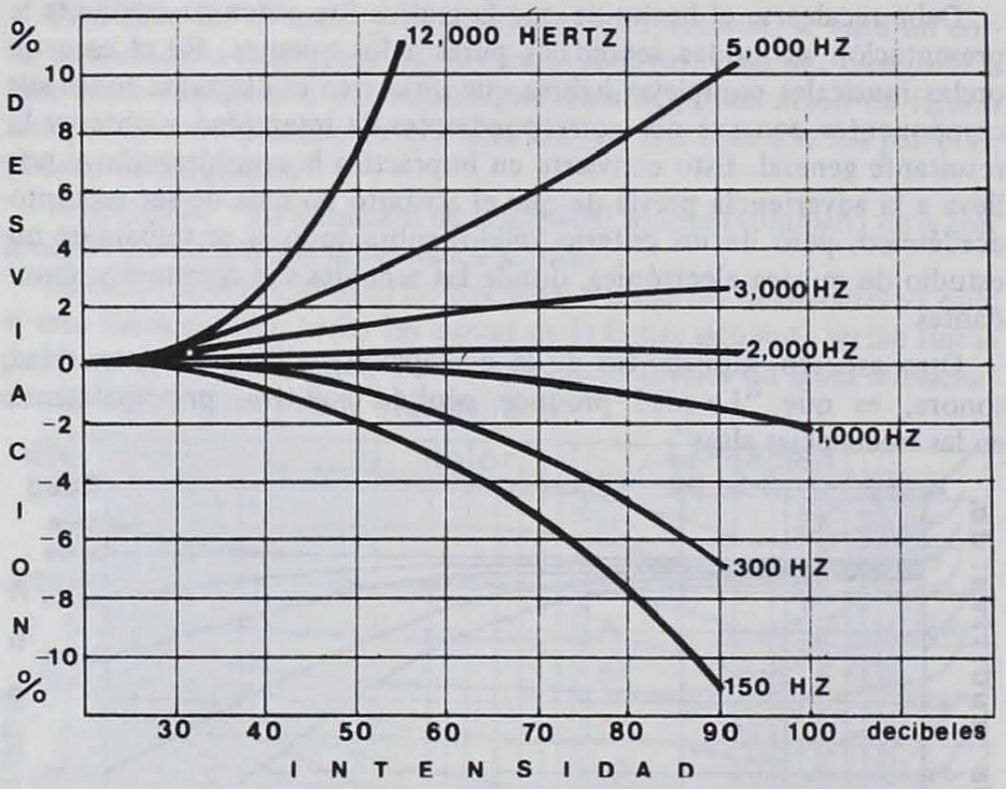


Figura II.15 Cambio auditivo de la altura al cambiar la intensidad de los sonidos.

En sonidos complejos, el oído promedia las desviaciones

Con sonidos complejos la situación cambia por la sencilla razón de que en un sonido grave, por ejemplo, la fundamental y primeros armónicos tenderán a bajar al aumentarse la intensidad, pero las armónicas altas subirán, y el oído obtendrá fisiológicamente el promedio y el resultado final será poco significativo, y aparte de los efectos disonantes, cuando suenen en fortíssimo los sonidos muy complejos por combinaciones inesperadas entre las armónicas, este fenómeno cae también (en las ondas complejas y de gran riqueza armónica) en la categoría del tipo un tanto experimental y académico.

Microtonos que el oído puede detectar

Aún en la altura: "El número de frecuencias diferentes que el oído es capaz de distinguir es de aproximadamente 1,400 en el rango audible" (Lavis). La figura indica esta característica del oído. La curva es cumulativa, es decir, entre 500 y 1000 hz. hay aproximadamente 180 frecuencias diferentes que puden ser distinguidas; entre 62 y 125 hay sólo unas 30; entre 4K y 8K hay más de 250. El símbolo "K" significa mil, 4K=4,000.

Cabe notar aquí que si el oído percibe aproximadamente 1,400 frecuencias diferentes en el rango audible, es notable que durante la historia de la música sólo se hayan usado los 120 sonidos que contiene la escala temperada.

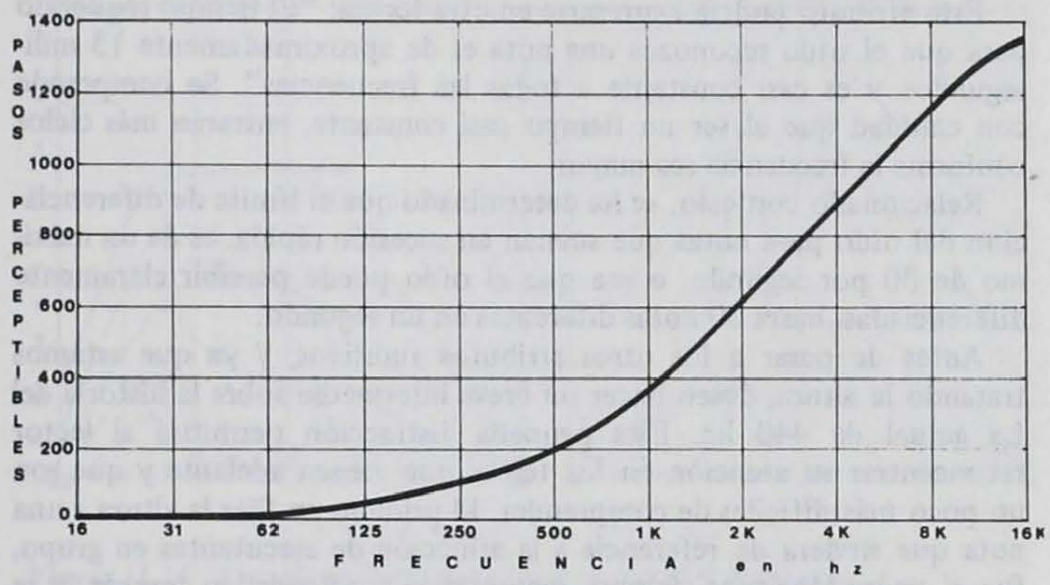


Figura II.16 Frecuencias diferentes que el oído puede percibir en el rango audible.

La curva también nos dice que mientras más alta es la frecuencia, el oído puede percibir más pasos, lo cual es intuitivo, y el siguiente atributo se relaciona estrechamente con esto.

Ciclos que el oído necesita para identificar una nota

"El número de ciclos necesarios para reconocer una nota, depende de, y varía con la frecuencia" (Burck).

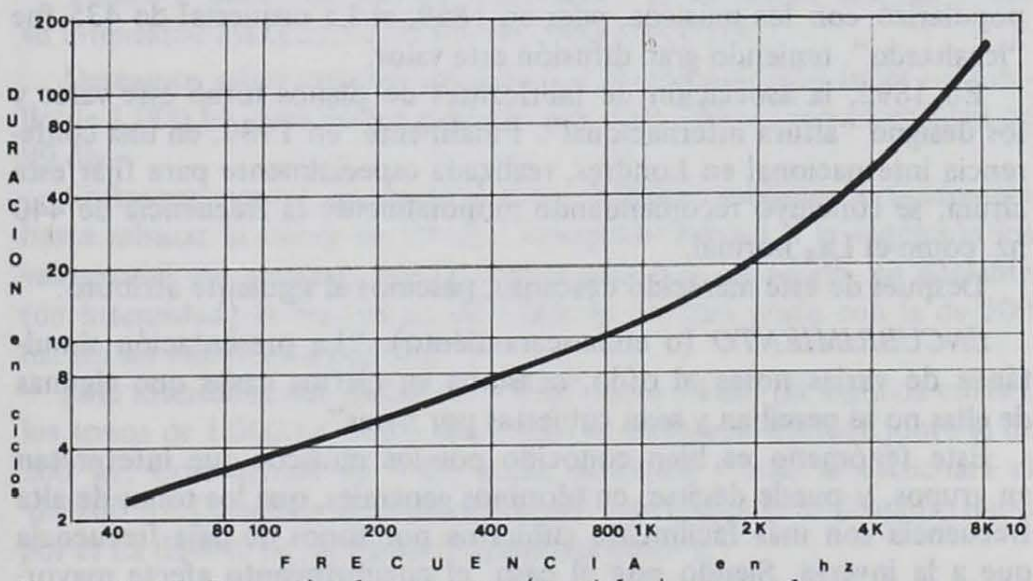


Figura II.17 Duración de una nota (en ciclos) para poder reconocer su altura.

La figura nos muestra que, por ejemplo, a 50 hz. son necesarios 3 ciclos para que el oído pueda determinar la altura de la nota, en tanto que a 400 hz. son necesarios 7 ciclos, a 800 son 10..., a 8,000 son 160. Si la nota es muy corta y al oído llegan muchos menos de los ciclos indicados, se oirá como un golpe corto o clic. Si la nota es más larga pero aún sin llegar a los ciclos indicados, se oye como un ruido con ciertos atributos de altura, hasta que al llegar al mínimo de los ciclos de la curva, se percibe como un sonido de altura bien definida.

Tiempo mínimo para que el oído identifique la altura de una nota

Este atributo podría expresarse en otra forma: "El tiempo requerido para que el oído reconozca una nota es de aproximadamente 13 milisegundos y es casi constante a todas las frecuencias". Se comprende con claridad que al ser un tiempo casi constante, entrarán más ciclos conforme la frecuencia sea mayor.

Relacionado con esto, se ha determinado que el límite de diferenciación del oído para notas que suenan en sucesión rápida, es de un máximo de 30 por segundo, o sea que el oído puede percibir claramente diferenciadas, hasta 30 notas diferentes en un segundo.

Historia sumaria del La de 440 hz.

Antes de pasar a los otros atributos auditivos, y ya que estamos tratando la altura, deseo hacer un breve intermedio sobre la historia del La actual de 440 hz. Esta pequeña distracción permitirá al lector reconcentrar su atención en los temas que vienen adelante y que son un poco más difíciles de comprender. El primero en fijar la altura a una nota que sirviera de referencia a la afinación de ejecutantes en grupo, fue el padre Mersenne, famoso matemático y eclesiástico francés, y se fijó en 1648, como 373.7 hz. la "altura de iglesia" y como 402.9 hz. la "altura de cámara". Para 1751, la norma que se conoce es de Handel y era de 422.5 hz. la primera y 461.6 la "de concierto". La primera medición precisa fue de Lissajous, en Francia, determinándola como 435 hz. y llamada "diapasón normal". Poco después Koenig demostró que la frecuencia real era de 435.45 a la temperatura de 15°C.

La primera acción de conjunto se tomó en Stuttgart, en 1834, cuando en una reunión de físicos se adoptó 440 hz., pero esto no se popularizó con los músicos, pues en 1859, el La orquestal de 435 fue "legalizado", teniendo gran difusión este valor.

En 1892, la asociación de fabricantes de pianos tomó este valor y los designó "altura internacional". Finalmente, en 1939, en una conferencia internacional en Londres, realizada especialmente para fijar esta altura, se concluyó recomendando mundialmente la frecuencia de 440 hz. como el La_4 normal.

Después de este merecido descanso, pasemos al siguiente atributo:

En ciertos casos, unos sonidos impiden que se oigan otros al sonar simultáneamente

ENCUBRIMIENTO (o enmascaramiento): "La presentación simultánea de varias notas al oído, ocasiona en ciertos casos que algunas de ellas no se perciban y sean cubiertas por otras".

Este fenómeno es bien conocido por los músicos que interpretan en grupos, y puede decirse, en términos generales, que los tonos de alta frecuencia son más fácilmente cubiertos por tonos de baja frecuencia que a la inversa. Siendo este el caso, el encubrimiento afecta mayormente a la calidad sonora al cubrir los armónicos de los tonos, que siempre se encuentran en la parte alta del espectro audible.

Presentamos sólo dos figuras relacionadas con este fenómeno, de la enormidad que pueden existir y más bien para que el estudiante esté consciente y sepa reconocer este fenómeno cuando aparezca en su vida profesional.

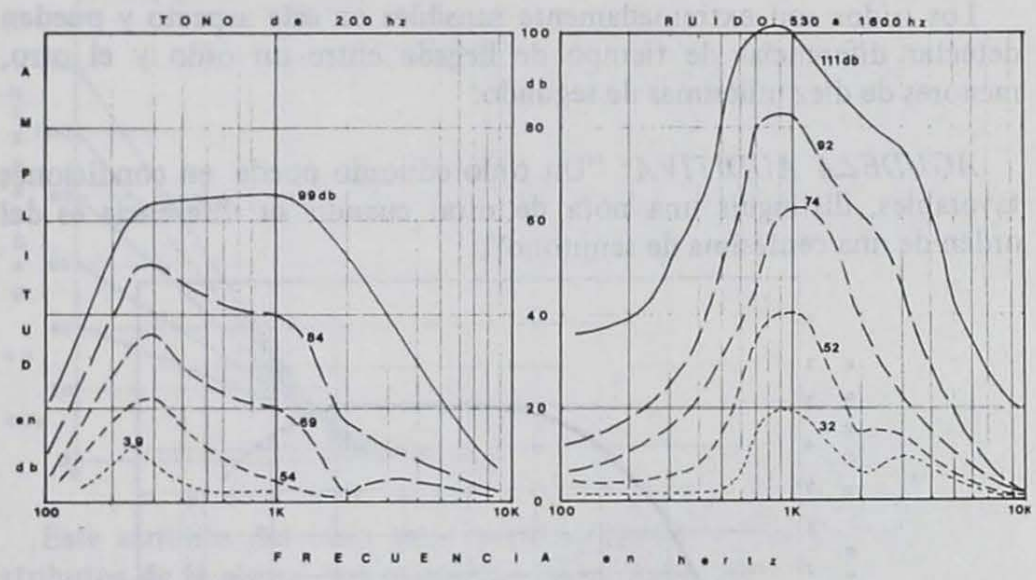


Figura II.18 Encubrimiento para los dos sonidos indicados.

La primera figura se refiere a un tono senoidal de 200 hz. como encubridor y nos dice que todos los sonidos abajo de las curvas (cuyas intensidades se indican para cada una) no se escucharán en el rango de 100 a 10,000 hz. a menos que tengan una intensidad sonora (indicada a la izquierda, en el eje vertical) que las haga salir hacia arriba de la curva encubridora. La segunda figura es un ruido con componentes entre 530 y 1,600 hz.

Vamos a poner un ejemplo en relación al sonido de 200 hz. y con su intensidad máxima, de 99 db. (la curva superior).

Deseamos saber cuántos decibeles de intensidad debe tener un sonido de 1,000 hz. para no ser cubierto por el de 200 hz. con intensidad de 99 db.

Entramos por el eje horizontal en 1,000 y subimos verticalmente hasta rebasar la curva de 99 db., enseguida leemos a la izquierda los valores del eje vertical, donde observamos que de 65 db. en adelante (de intensidad) la frecuencia de 1,000 hz. se oirá junto con la de 200 hz. sin ser encubierta por ésta.

Si la intensidad del sonido de 200 hz. fuese 54 db. (la segunda curva), los tonos de 1,000 hz. con 8 db. y más, se oirán con claridad junto al de 200 hz. Con menos de 8 db. serán cubiertos y solo se escuchará el de 200 hz. (Tengo la impresión que con este atributo, el descanso dado por el La de 440 hz. se esfumó completamente).

La intensidad y la fase de un sonido le indican al cerebro su ubicación

UBICACION: "Para determinar la ubicación de un sonido, el cerebro analiza la intensidad y la fase recibidas en cada oído".

La diferencia de fase es debida a la diferencia en el tiempo de llegada del sonido a un oído respecto del otro. Por supuesto que la diferencia puede ser cero, y entonces el sonido estará directamente al frente o directamente atrás, y el pabellón de la oreja lo decidirá por la intensidad que perciba... aunque en ocasiones también se confunde la ubicación, moviéndose instintivamente la cabeza para poner en juego la fase y determinar la procedencia sonora con exactitud.

Los oídos son extremadamente sensibles en este aspecto y pueden detectar diferencias de tiempo de llegada entre un oído y el otro, menores de diez milésimas de segundo.

La agudeza auditiva varía con la frecuencia

AGUDEZA AUDITIVA: "Un oído educado puede en condiciones favorables, distinguir una nota de otra, cuando su diferencia es del orden de una centésima de semitono".

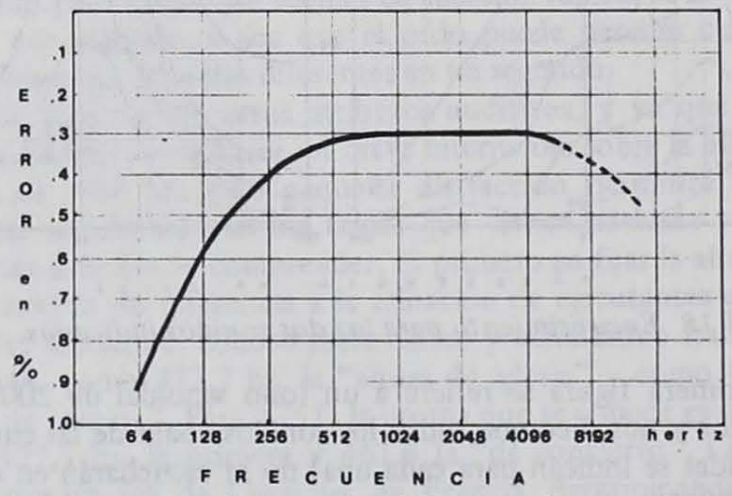


Figura II.19 Agudeza auditiva en las diferentes frecuencias.

A este atributo podíamos llamarlo, también: porciento de error en la discriminación de las diferentes frecuencias, siendo máximo a las frecuencias bajas, mínimo entre 500 y 5,000 hz. y volviendo a disminuir arriba de 5,000 hz.

En casos prácticos, un afinador de pianos experto puede distinguir la diferencia entre una quinta temperada y una quinta natural, lo que representa más o menos, un cincuentavo de semitono. La curva nos muestra la agudeza auditiva para oídos promedio. De la curva de Fletcher, vista con anterioridad, ya sabíamos que el oído es más sensible entre 600 y 5,000 hz., aproximadamente, y aquí lo volvemos a confirmar, pues en este rango el oído distingue un intervalo menor de un dieciseisavo de semitono (0.3 por ciento), en tanto que en la parte grave del espectro, es tan grande como para llegar a casi el semitono completo (1 por ciento).

Los sonidos persisten un tiempo en el oído

PERSISTENCIA: "La persistencia sonora en el oído es del orden de un décimo de segundo".

Esto corresponde al fenómeno similar de la visión, que persiste en la retina alrededor de un cincuentavo de segundo y que ha hecho posible el cinematógrafo y la televisión. En el caso auditivo la figura nos muestra la persistencia sonora de un tono de 800 hz. (Békésy), a diferentes amplitudes, donde se percibe su constancia al variar éstas.

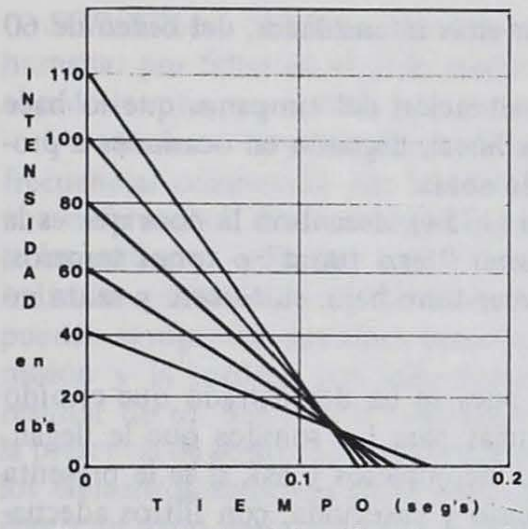


Figura II.20
Persistencia auditiva en un tono de 800 hz.

Este atributo del oído tiene efecto también, como lo vimos en los atributos de la altura, con el número máximo de notas en sucesión rápida que el oído puede reconocer por unidad de tiempo.

La forma de vibración del tímpano produce sonidos propios

TONOS SUBJETIVOS: "El oído genera sonidos por sí mismo, tanto armónicos como sonidos de combinación".

Esto depende de la forma de onda y de la intensidad del sonido, así como del oyente, pero en términos generales se establece lo siguiente:

En senoides puras, genera sus armónicos

a) Si se le presentan senoides puras al oído, éste generará por sí mismo los llamados "armónicos auditivos" de la onda recibida. La figura nos indica las intensidades a las cuales aparecen los armónicos en las frecuencias del rango audible. Se observa que conforme se aumenta la amplitud, van apareciendo los armónicos más altos, dependiendo de la frecuencia.

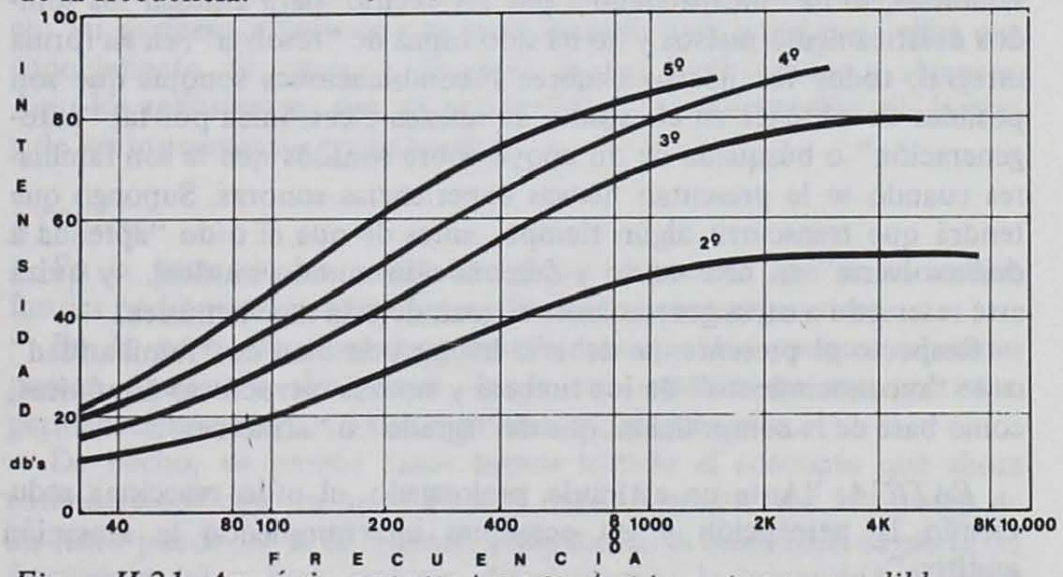


Figura II.21 Armónicos generados por el oído en la gama audible.

En ondas complejas genera tonos de combinación

b) Para el caso de recibir ondas complejas, el oído genera los llamados "tonos de combinación" y así, además de las ondas reales recibidas, se oirán las siguientes:

La resta de las frecuencias, que se oirá fuerte.

La suma de las frecuencias, que se oirá muy quedo.

El doble de cada una de las frecuencias, que se oirá quedo.

Todo esto sucede en tonos con altas intensidades, del orden de 60 db. para arriba.

Esto procede de la forma de vibración del tímpano, que lo hace irregularmente y se dice que no es lineal, llegando en ocasiones a producir por sí mismo toda una serie de notas.

Se dice que el violinista Tartini (1754), descubrió la nota que es la resta de las dos emitidas y la llamó "terzi tuoni" o tonos terceros, e insistía: "si usted no oye el tercer tono bajo, su tercera y sexta no están afinadas".

Este fenómeno es importante, pues se ha demostrado que el oído genera toda una gama de frecuencias para los sonidos que le llegan, especialmente si le son extraños o incompletos y así, si se le presenta una onda compleja de un instrumento y enseguida, con filtros adecuados, se le suprime la fundamental y se le presenta nuevamente al oído, éste suplirá la fundamental extraída y seguirá oyendo la misma altura y timbre.

En sonidos desconocidos, los completa para hacerlos familiares

Esto también está relacionado con la música escuchada en un pequeño radio portátil cuyo altavoz no es capaz de responder a las frecuencias bajas orquestales, suprimiendo casi totalmente las fundamentales y primeros armónicos de los bajos... y sin embargo, el oído reconoce timbres porque ha introducido por sí mismo las frecuencias faltantes. Esto no quiere decir que el resultado sea musicalmente satisfactorio, pero en todo caso son sustitutos aceptables de la realidad.

El efecto más importante de este fenómeno es, en mi concepto, que la costumbre secular del oído de percibir ciertos timbres y ciertas armonías, lo ha "incapacitado", por así decirlo, para asimilar los sonidos drásticamente nuevos y no ha sido capaz de "resolver", en su forma integral, todos los nuevos timbres y combinaciones sonoras que son posibles de obtener en el estudio de música electrónica por tal "autogeneración" o búsqueda de un apoyo sobre sonidos que le son familiares cuando se le presentan nuevas experiencias sonoras. Supongo que tendrá que transcurrir algún tiempo, antes de que el oído "aprenda a desenvolverse" en este nuevo y desconocido mundo musical... y quizá esté reservado a otras generaciones el gozo de esta nueva música.

Respecto al presente, se debería hablar más bien de "familiaridad" o de "reconocimiento" de los timbres y nuevas estructuras armónicas, como base de la composición, que de "agrado" o "atractivo".

La fatiga auditiva reduce o anula la audición

FATIGA: "Ante un estímulo prolongado, el oído reacciona reduciendo la percepción y en ocasiones interrumpiendo la sensación auditiva".

Los factores que influyen en la fatiga son: la duración del estímulo, su intensidad y su frecuencia. La fatiga máxima ocurre en la frecuencia de sonido que más estímulo produzca al oído. Tonos abajo de 500 hz. afectan poco, pero de 1 Khz. para arriba, la pérdida auditiva por fatiga es del orden de 4 db., pudiendo durar de unos pocos segundos a varios minutos. Ciertos oyentes pueden llegar a "desconectar", literalmente hablando, a su oído del cerebro, inhibiendo por completo la audición.

SORDERA: "Existen fundamentalmente dos tipos de sordera humana: por fallas en el oído medio (que es corregible) y por fallas en el oído interno y/o nervios (que no es posible curar)".

Tipos de sordera humana

Ya vimos en la parte *altura*, la pérdida de la percepción a las altas frecuencias ocasionada por la edad avanzada, que en todo caso no es una enfermedad, sino una degeneración senil. Aquí veremos rápidamente las sorderas –pues hay varios tipos– que se pueden presentar en los individuos. Hablando en términos muy generalizados, las sorderas se pueden agrupar en dos tipos principales: la sordera por fallas de transmisión y la sordera por falla nerviosa o coclear. La primera puede resultar de un daño en el tímpano o en los huesecillos y también por la presencia de algún cuerpo extraño que impide el movimiento normal de los elementos auditivos en el oído medio. El segundo tipo se presenta como un daño permanente en el caracol o en los nervios auditivos. Esta última anomalía no puede ser corregida en ninguna forma; pero en el caso de la primera, es posible llegar al caracol a través de los huesos del cráneo y aunque con la atenuación inevitable, llegar a oir con cierta eficiencia.

Sorderas parciales o especiales existen por supuesto: personas que oyen alturas diferentes de las reales, otras que, como Schuman o Smetana, escuchan insistentemente una nota... pero eso excede los alcances de esta obra que pretende cubrir el máximo con los conceptos básicos mínimos.

4. Conceptos: *Algunos tratamientos sonoros*

Teoría de operación del equipo en los estudios de música electrónica

Los conceptos que presentamos a continuación, son el fundamento para la comprensión de los aparatos existentes en el laboratorio electrónico. Su perfecta asimilación es indispensable para trabajar en ellos con conocimiento de causa y dominio de sus posibilidades y alcances. Aquí los aplicaremos, por el momento, a la comprensión de la voz y de los instrumentos tradicionales.

A) Filtrar.

Filtrar=seleccionar frecuencias

En la parte de las ondas complejas, sugerimos que en el análisis fourier podíamos suprimir ciertas armónicas y conservar otras.

En la parte de resonancia estudiamos que los cuerpos vibrantes poseen una cierta frecuencia donde sus oscilaciones son máximas, permaneciendo pasivos o casi inmóviles a cualquier otra.

De hecho, en ambos casos hemos tratado el concepto que ahora extenderemos con un poco de más detalle, puesto que la función de un filtro puede ser la de resonar, aumentando la intensidad de cierta (s) frecuencia (s) o bien atenuar, disminuyendo la intensidad de otras dentro del rango audible, y así se habla en el primer caso de filtros de paso de frecuencias, y en el segundo de filtros de rechazo o supresión de frecuencias.

Los filtros absorben energía para vibrar

Este concepto, al parecer contradictorio, se basa en el hecho de que el filtro absorbe energía para vibrar y transferir, mediante un buen "acoplamiento", dicha vibración al aire. La absorción de energía que realiza el filtro se puede usar para incrementar el sonido de la fuen-

te vibrante en el aire y también para introducir pérdidas a ésta y atenuar el sonido, y todo dependerá del arreglo de los filtros para lograr uno u otro resultado.

Un ejemplo sencillo aclarará los conceptos anteriores. Supongamos un diapasón de La de 440 hz., ya vimos que en el aire su sonido es mínimo, pero que si lo colocamos sobre un resonador, su intensidad será notablemente aumentada pues éste ha absorbido parte de su energía, se ha puesto a vibrar, y mediante su gran superficie, ha radiado "eficientemente" este sonido al aire. Hemos aumentado la intensidad del La. Los instrumentos tradicionales se basan todos sobre este principio.

Modifiquemos ahora el experimento y coloquemos el diapasón y también el resonador, para hacer más notable el resultado, frente a un tubo, a modo que el sonido se transmita a través de él. A lo largo del tubo colocaremos uno o más resonadores como el que aumentó la intensidad, es decir, "afinados" a la misma frecuencia del diapasón, como se ve en la figura.

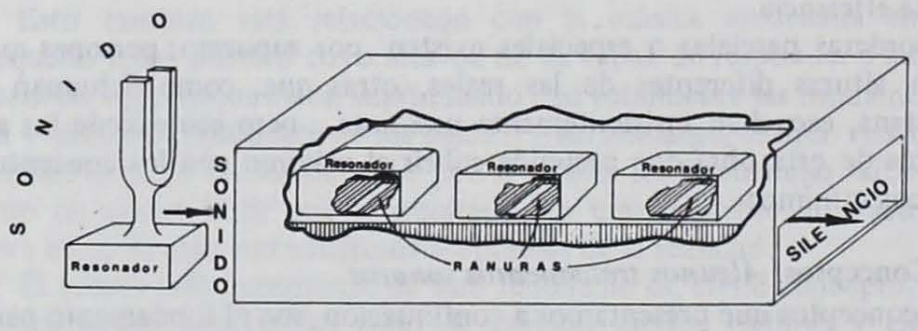


Figura II.22 Filtro acústico.

Filtros de supresión de banda

Si nos situamos al final del tubo comprobaremos que la frecuencia fue totalmente atenuada o eliminada, puesto que los resonadores interiores absorbieron la energía precisamente a esta frecuencia, y encerrados como están, no la radiaron al exterior.

Este principio se utiliza en los silenciadores de los autos, "afinados", por así decirlo, a la frecuencia aproximada del ruido del motor, ya que se comprende que "afinando" cada uno de los resonadores interiores a diferente frecuencia, se puede lograr la supresión de una banda de frecuencias en lugar de una sola, como en nuestro experimento. Esto no es sino un filtro acústico de eliminación o supresión y todos sabemos de su efectividad, cuando por desgracia se rompe el sistema de escape del auto.

Curvas gráficas del comportamiento de los filtros

Si dibujamos en una gráfica lo sucedido, pero sustituimos el diapasón por una fuente sonora en la cual podamos cambiar la frecuencia con facilidad (sirena, cuerda, etc.) y comenzamos a generar notas en la gama audible, podremos observar que en la proximidad de los 440 hz., la intensidad comenzará a aumentar y justo en los 440 hz., la caja resonante se pondrá a vibrar con energía dando su máxima intensidad.

Al seguir subiendo la frecuencia, la intensidad volverá a disminuir y como antes de los 440 hz., sólo se escuchará el sonido de la fuente sonora al aire.

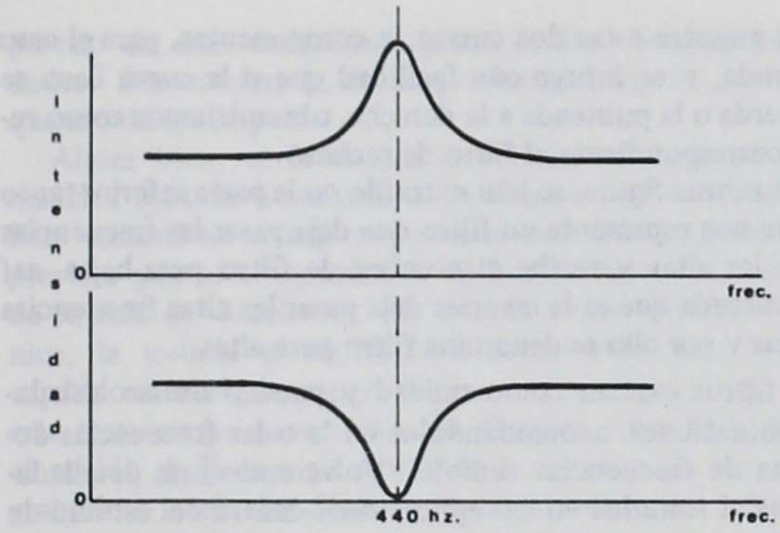


Figura II.23 Curvas de la intensidad sonora en un filtro de paso y otro de supresión de banda.

Para el caso del tubo supresor de frecuencias anterior, a los 440 hz. desaparecerá el sonido a su salida, como lo muestra la curva inferior, pero antes y después de tal tono, se oirá la frecuencia de nuestra fuente sonora al aire.

Designaciones técnicas de los conceptos utilizados

Vayamos ahora al bautizo, con la jerga técnica, de nuestros nuevos conceptos. El filtro que pasa una frecuencia o una banda de frecuencias recibe el nombre de filtro pasabanda o filtro de paso de banda. El segundo es un filtro de rechazo de banda o supresión de banda.

Ambos filtros, en su versión eléctrica (no acústica), se usan constantemente en el estudio electrónico, y el estudiante debe recordar que operan sólo sobre las amplitudes de las ondas sin modificar las frecuencias, pero que alteran profundamente el timbre al actuar sobre los armónicos de las ondas complejas.

Una observación más cuidadosa de las curvas nos permite apreciar que ambas están formadas, de hecho, por dos curvas similares de forma invertida y movidas en su frecuencia.

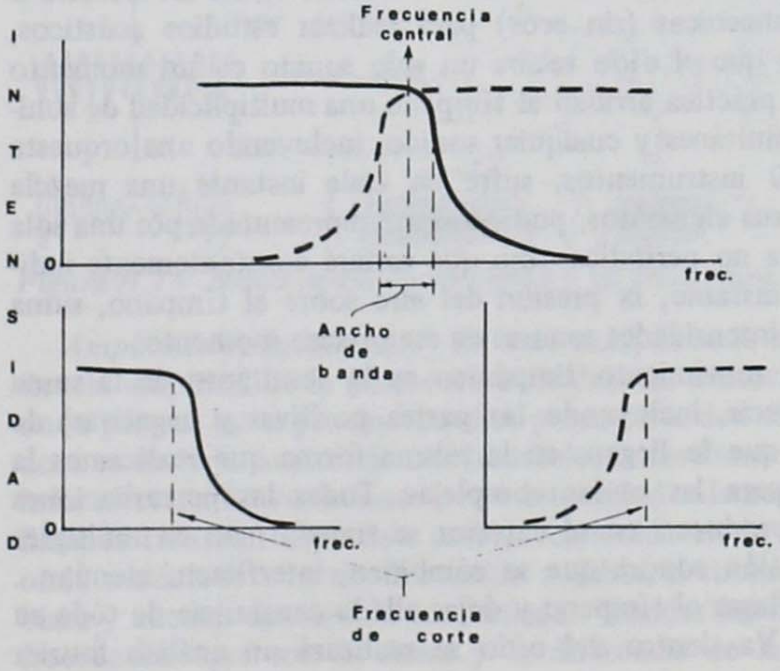


Figura II.24 Los filtros básicos y sus curvas de "atenuación".

La figura nos muestra estas dos curvas, o componentes, para el caso del filtro pasabanda, y se intuye con facilidad que si la curva llena se mueve a la izquierda o la punteada a la derecha, obtendríamos como resultado la curva correspondiente al filtro de rechazo.

Los filtros pasa-altas y pasa-bajas

También en la misma figura, se han extraído en la parte inferior tanto la curva llena, que nos representa un filtro que deja pasar las frecuencias bajas y suprime las altas y recibe el nombre de filtro pasa-bajas, así como la curva punteada que es la inversa: deja pasar las altas frecuencias y suprime las bajas y por ello se denomina filtro pasa-altas.

Estos cuatro filtros existen como unidad y pueden usarse aisladamente o en combinaciones, acomodándolos en la o las frecuencias deseadas en la gama de frecuencias audibles. Volveremos más detalladamente a los filtros al tratarlos en sus aplicaciones dentro del estudio de música electrónica, pero aprendamos para terminar, algunos otros terminajos técnicos, favor de referirse a la figura anterior. En un filtro pasabandas o de rechazo, la frecuencia que queda al centro de la banda que se pasa o rechaza, recibe el nombre de frecuencia centro o central. La banda de paso o rechazo se llama ancho de banda y puede ser variable.

En los filtros pasa altas y pasa bajas la frecuencia a partir de la cual comienza a haber atenuación, se llama frecuencia de corte.

Filtros de corte agudo: 20 o más db. por octava. De corte suave: 3 db. por octava

Los filtros pueden ser de corte muy agudo (la curva es casi vertical) o de corte suave (la curva es muy tendida), y desde luego, con todas las variaciones entre ellos. Los del estudio, generalmente son de corte medio, diciéndose que tienen un corte de unos 10 db. por octava y también los hay de corte agudo, de 20 db. por octava o más, siendo estos valores la atenuación que sufre el sonido al pasar por ellos, fuera de la de paso, que lo hace libremente y sin reducción en su amplitud.

B) Mezclar.

La mezcla de los sonidos

Fuera de las situaciones artificialmente creadas en un laboratorio o en las cámaras anecoicas (sin ecos) para realizar estudios acústicos, es casi imposible que el oído reciba un solo sonido en un momento dado. En la vida práctica arriban al tímpano una multiplicidad de sonidos en forma simultánea y cualquier sonido, incluyendo una orquesta sinfónica de 100 instrumentos, sufre en cada instante una mezcla sonora de todos sus elementos, pudiendo ser representada por una sola onda compleja ya no periódica, sino que variará constantemente indicando, en cada instante, la presión del aire sobre el tímpano, suma total de todas las intensidades sonoras en ese preciso momento.

Es así que el movimiento timpánico es la resultante de la suma geométrica (es decir, incluyendo las partes positivas y negativas) de todas las ondas que le llegan, en la misma forma que realizamos la síntesis fourier para las ondas complejas. Todas las perturbaciones sonoras que se producen en el exterior se transforman en múltiples esferas en expansión sonora que se combinan, interfieren, atenúan... para finalmente llegar al tímpano y dejar allí la constancia de toda su historia sonora. Ya dentro del oído se realizará un análisis fourier

preciso de esta complicada perturbación, determinándose las intensidades, frecuencias, cualidades, ubicaciones, etc., de la masa sonora que movió al tímpano.

Ahora bien, en la música se requiere un control preciso sobre las mezclas sonoras a realizar, si se desean producir resultados estéticos. Este control se realiza en los instrumentos tradicionales de un modo previsto por el compositor y en forma totalmente acústica en el aire de la sala de conciertos. En el caso de un estudio de música electrónica, la mezcla se realizará en forma eléctrica y ya veremos en el capítulo correspondiente de las facilidades de que se dispone para este tratamiento sonoro. En los tiempos presentes y casi sin excepción, el sonido se lleva a su equivalente eléctrico ya sea para amplificarlo, grabarlo o controlar diversos factores a voluntad y bajo pleno control.

Mezclas de corrientes electroacústicas

C) Modular, en amplitud y en frecuencia.

A diferencia de la mezcla que salvo la intensidad, conserva íntegras las características de los sonidos mezclados, la modulación altera ciertas características de las ondas, diferentes de la amplitud. Se habla normalmente de la onda moduladora, que será la causante de las variaciones sobre otra onda que se denomina la onda modulada o portadora, por llevar las variaciones impuestas por la primera. En adición se agrega la característica que se está variando o modificando, en nuestro caso: modulación de amplitud o modulación de frecuencia. También, a diferencia de la mezcla, la onda resultante no es sólo la adición geométrica de las amplitudes o frecuencias de las ondas, sino que produce nuevos sonidos, como veremos adelante.

La modulación altera a las dos ondas que participan: la moduladora y la modulada o portadora

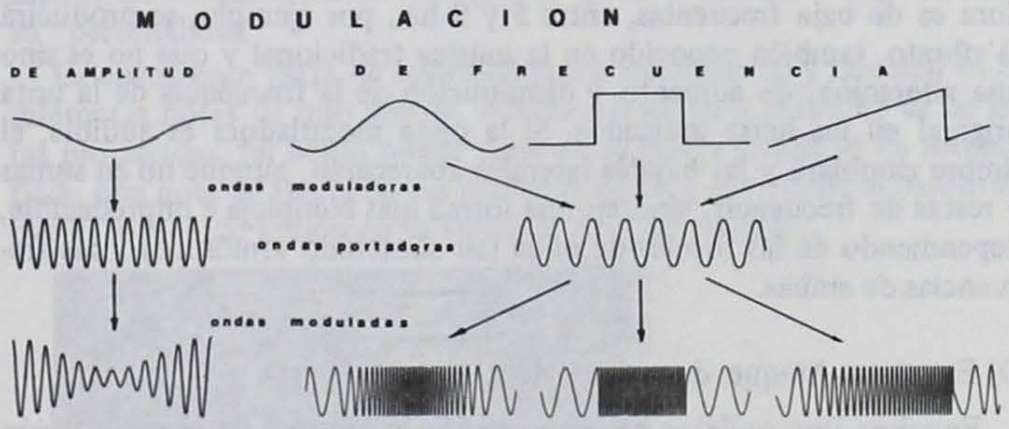


Figura II.25 Modulación en amplitud y en frecuencia.

Amplitud Modulada, AM. En este caso, la onda moduladora modifica la amplitud de la portadora o modulada, conforme a su forma de onda propia, en el proceso pueden presentarse dos casos. Si la moduladora es de baja frecuencia o infraudible, la resultante es la onda modulada afectada de variaciones en su intensidad solamente, musicalmente llamada trémolo. Este caso es bien conocido en la música. Pero si la onda moduladora es de frecuencia audible, el timbre de la onda cambiará y además aparecerán las llamadas "bandas laterales" o sea nuevas frecuencias que son la suma y la diferencia de las dos frecuencias

La modulación de amplitud y sus efectos

originales, la moduladora y la modulada. Este efecto no existe en la música tradicional y es un recurso nuevo de la música electrónica.

La modulación anular: pérdida de las ondas originales

Modulación anular, (ring modulation). Es un caso especial de la modulación de amplitud en el cual la onda resultante sólo contiene las bandas laterales y ha perdido las dos originales que la produjeron. En otras palabras, la resultante es la suma y la resta de la modulada y la moduladora, y estas últimas han desaparecido. Por esta característica las dos ondas de entrada son intercambiables y se dice que es una modulación balanceada, o sea, que el efecto es el mismo si una modula a la otra o se invierten. En la modulación anular, se pierden muchas características de los sonidos originales y aparecen a la salida efectos inesperados y muy difíciles de predecir, es por ello una técnica mucho muy explotada en los estudios de música electrónica.

La modulación de frecuencia y sus efectos

Frecuencia Modulada, FM. En este caso, la onda moduladora cambiará la frecuencia de la modulada sin afectar su amplitud. La frecuencia de la modulada subirá y bajará tantas veces por segundo, como hertz tenga la moduladora, por otro lado, el intervalo de ascenso y descenso en la frecuencia estará en función de la amplitud de la moduladora: a mayor amplitud, más grande será el intervalo y viceversa. Por ejemplo, si la moduladora es de 8 hz. y tiene poca intensidad o amplitud, la onda modulada subirá y bajará su frecuencia 8 veces por segundo en una fracción de semitono. Si la amplitud de la moduladora fuese grande, seguirá subiendo y bajando 8 veces por segundo, pero lo hará de un extremo a otro de la gama audible o sea, de 16 a 16,000 hz.

También se presentan dos casos como en la AM, si la onda moduladora es de baja frecuencia, entre 5 y 9 hz., por ejemplo, se producirá el vibrato, también conocido en la música tradicional y que no es sino una alteración, de aumento y disminución de la frecuencia de la nota original en los hertz indicados. Si la onda moduladora es audible, el timbre cambiará y las bandas laterales aparecerán, aunque no en sumas y restas de frecuencia, sino en una forma más compleja e impredecible, dependiendo de las formas de onda (su contenido armónico) y las frecuencias de ambas.

D) Envolver: Ataque, duración y decaimiento.

La envolvente modula a la amplitud en forma no periódica

Envolver una onda es de hecho una variante más de la modulación de la amplitud, en donde la moduladora o envolvente (en este caso) es una onda infraudible y por lo general no periódica. En la realidad, todos los instrumentos tradicionales "envuelven" sus notas en formas peculiares a cada uno de ellos, es decir, que ni el inicio es instantáneo ni tampoco terminan en forma abrupta la nota que emitieron, pero más aún, si esto sucediera, se oiría al inicio y fin de la nota un corto ruido o clic. La figura nos presenta por una parte la acción de "envolver" una onda, y enseguida las envolventes típicas de algunos instrumentos tradicionales, se entiende que dentro de ellas va la frecuencia de la nota dada en el instrumento o voz.

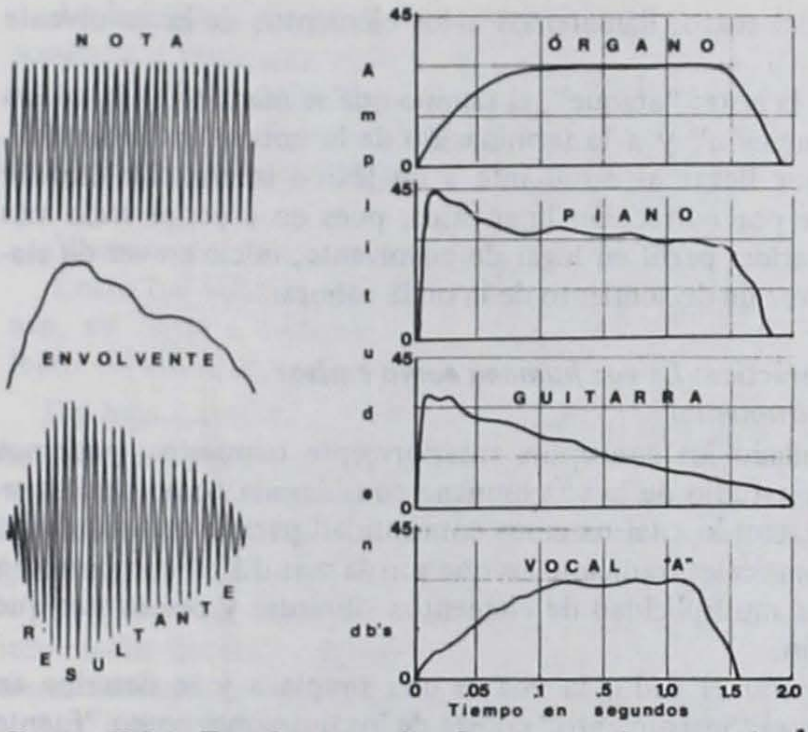


Figura II.26 Envolvente aplicada a una onda y envolventes de algunos instrumentos tradicionales.

También identifica al instrumento

Sin embargo, la envolvente en los instrumentos tradicionales no es sólo el perfil de la intensidad del sonido, aunque sea lo más notable, la envolvente es sin lugar a duda la parte más importante en la nota de un instrumento y lleva, por así decirlo, la "huella sonora" del mismo, a tal grado que si se suprime artificialmente o si se reproduce al revés el sonido grabado en una cinta magnética, es casi imposible identificar el instrumento de que se trata, y cambia completamente su "personalidad".

La envolvente varía de instrumento en instrumento y también en las diferentes notas de uno mismo. Afecta a la altura y el timbre de las notas producidas, tal como puede verse en la figura donde se ha fotografiado una nota de flauta en sus primeros ciclos y es notable el confirmar que el contenido armónico va variando de ciclo en ciclo.

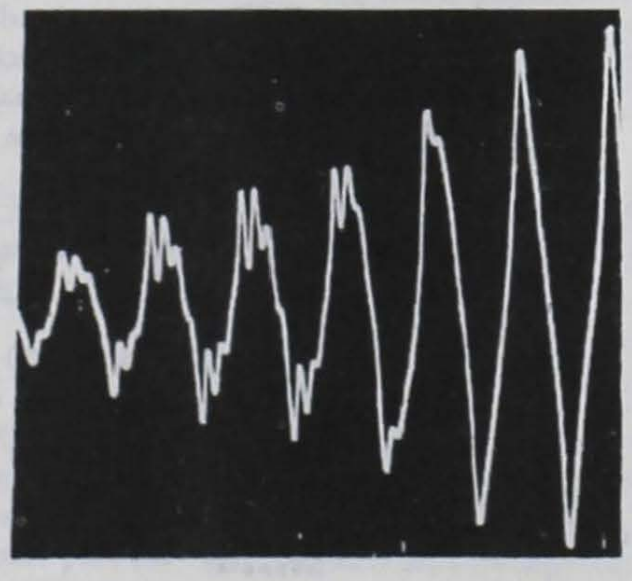


Figura II.27 Cambio de la forma de onda en los primeros ciclos del ataque de una nota instrumental (flauta).

A lo largo del texto, llamaremos a los elementos de la envolvente como sigue:

Elementos de la envolvente: ataque, duración y decaimiento

Al inicio de la nota: "ataque", al tiempo que se mantiene a la misma intensidad: "duración" y a la terminación de la nota: "decaimiento". Esto es más por llevar al estudiante a un léxico internacionalmente compatible que por corrección lingüística, pues en español sería más apropiado llamarlos: perfil en lugar de envolvente, inicio en vez de ataque, y final en vez de decaimiento de la onda sonora.

5. Aplicación práctica: *La voz humana como emisor sonoro e instrumental*

La voz como instrumento musical:

Si hemos asimilado los conceptos anteriormente expuestos, podemos hacer un buen estudio de la voz humana considerada como un instrumento musical, con lo cual daremos continuidad para el estudio de los instrumentos musicales tradicionales que son de más difícil comprensión en virtud de la multiplicidad de elementos vibrantes y resonantes que entran en acción.

una fuente de energía,

Comparada con el oído, la voz es una simpleza y se describe en pocas palabras: el "instrumento" consta de los pulmones como "fuente de poder" o bomba de aire, enseguida la laringe como tubo conductor de este aire hacia un oscilador de frecuencia variable llamado "cuerdas vocales" y más propiamente "pliegues vocales" (*plica vocalis*), pues no son sino dobleces de la membrana que recubre la laringe. Al final del tubo laríngeo está el velum o paladar suave, que funciona como una válvula de control entre la cavidad nasal y la boca, bajo control voluntario del individuo.

un oscilador de frecuencia variable

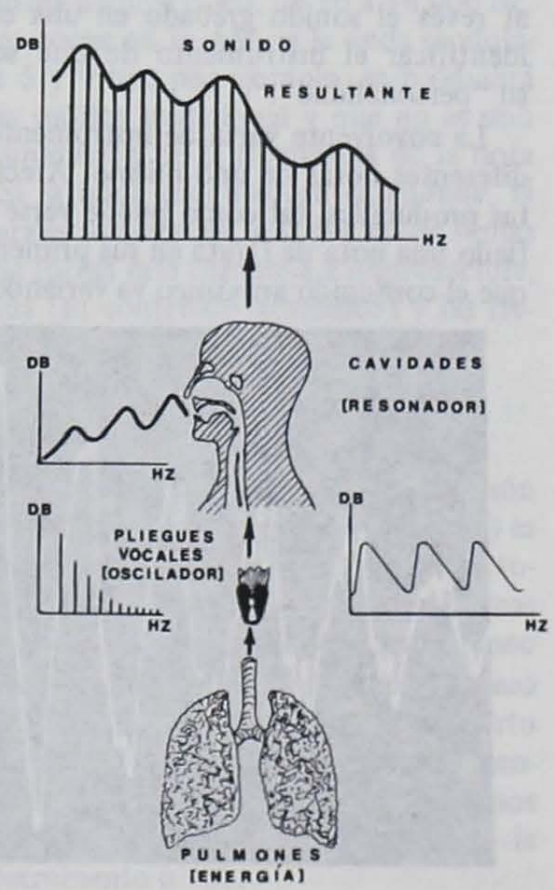


Figura II.28
Esquema de los elementos de la voz humana.

y un resonador

La laringe, la faringe y la boca, todas constituyen una cámara de resonancia o resonador similar, en función, al de los instrumentos, con la diferencia fundamental que aquí, puede ser modificada dinámicamente y en ocasiones con gran velocidad y ésta es la gran diferencia con el oído, que en este aspecto funciona "automáticamente", sin control voluntario alguno.

Veamos con más detalle cada uno de estos elementos.

Entre los valores más necesarios que debe tener un buen cantante son, sin lugar a duda, una gran capacidad pulmonar y un control perfecto del aire que puede manejar.

Del bajo Lablache se cuenta, por un testigo presencial que: "cantó una larga nota, de piano a forte y de regreso a piano, luego bebió un vaso de vino y enseguida recorrió una octava cromática en trinos, para finalizar apagando una vela con la boca abierta, y todo... ¡con una sola respiración! (yo invito al lector a que a lo menos, apague la vela con la boca abierta).

En todo caso, mucho más aire se requiere para cantar que para la respiración normal o agitada. La mujer respira con los pulmones superiores (costales) y el hombre con los inferiores (diafragmáticos), pero ambos son utilizados continuamente en el canto, para aumentar la capacidad de reserva de aire.

Las cuerdas vocales

Las cuerdas vocales son pequeñas, como de un centímetro de largo y localizadas en la parte superior de la garganta, en una especie de caja ósea llamada familiarmente en el hombre la manzana de Adán, por la fantasía de que allí se atoró la fruta prohibida... aunque en verdad, muchos pecados siguen teniendo su origen en ese preciso lugar.

Inmediatamente arriba de los pliegues vocales se encuentran otros pliegues menores, llamados falsas cuerdas vocales, las que cerradas y abiertas repentinamente, constituyen la acción de toser.

Forma de emitir el sonido

Durante la respiración las cuerdas vocales están separadas, pero al expulsar el aire, cuando voluntariamente se desea emitir un sonido, las cuerdas se cierran y se ponen tensas y "afinadas" justo en la nota a producirse. El aire llega y la nota "imaginada" previamente, es producida.

El mecanismo vibratorio se realiza mediante la presión del aire sobre las cuerdas vocales cerradas. Para cada ciclo de la onda producida, éstas se abren repentinamente, para cerrase nuevamente al cesar el exceso de presión, la que vuelve a aumentar y de nuevo forza a la brusca apertura.

Si midiéramos la presión del aire justo en la cuerda vocal, y antes de cualquier resonancia orgánica, la curva correspondería aproximadamente a una onda diente de sierra o rampa.

Otros datos complementarios los intuirá fácilmente el lector: el ciclo de apertura y cierre, o sea la frecuencia emitida, dependerá del restiramiento de las cuerdas, y consecuentemente de la presión del aire para abrirlas, siendo mayor para las notas más altas y viceversa. También, el tamaño de las cuerdas determinará la tesitura del cantante: grande para los bajos, pequeña para las sopranos.

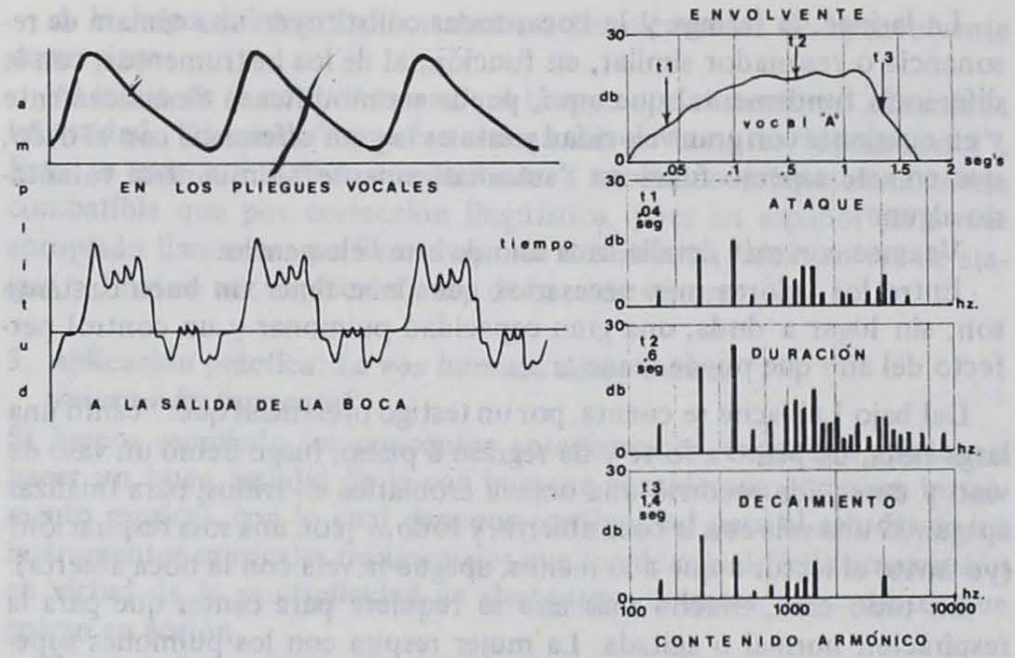


Figura II.29 Análisis de la vocal "A", desde la forma de onda producida en las cuerdas vocales, hasta el contenido armónico final.

La onda producida por los pliegues vocales es una onda rampa

Respecto a la forma de onda producida, ya nos es familiar: es compleja y contiene las componentes pares e impares y se han llegado a medir hasta 35 armónicos, incluyendo algunos inarmónicos, o sea, frecuencias que no son múltiplos de la fundamental.

Para demostrar la riqueza armónica de la onda producida, repetimos aquí la envolvente de la letra "A" que vimos en la figura 26, pero con un análisis armónico detallado en tres etapas de su emisión; el ataque, la duración y el decaimiento.

Para el habla normal, con una octava de alcance es más que suficiente y casi nunca se llega a ella, pero en el caso de un cantante profesional puede rebasar las dos octavas, aunque de tarde en tarde se llega a escuchar alguno con enormes alcances... y también cantantes que dominan el "falsetto" con tal maestría, como para pasar de una tesitura a otra sin que se note la introducción del falsetto, el que, aparentemente, es una vibración armónica del pliegue superior extremo vocal, en una posición elevada de la laringe.

El resto del sistema: laringe, faringe, cavidad nasal y la boca, constituyen el resonador propiamente dicho, que es modificable en multitud de formas, movimiento de labios, mandíbulas, lengua y músculos de la laringe principalmente; todo esto encaminado a modificar el timbre de las diferentes frecuencias y armónicas producidas por las cuerdas vocales.

Formantes del sistema resonador

El conjunto resonador anotado tiene cuatro o cinco frecuencias de resonancia importantes y son variables de persona a persona, recibiendo el nombre de "formantes", de modo que ciertas armónicas, de la gran cantidad producidas por las cuerdas vocales, serán reforzadas por estas resonancias particulares y otras serán atenuadas (nótese en el espectro armónico de la figura anterior estas formantes en los 400, 1,500 y 4,000 hz. aproximadamente). Las formantes nombradas imprimirán

a cada voz características inconfundibles, similares a una huella sónica para cada ser humano.

La modificación de los medios de resonancia nombrados, cambian el contenido armónico de las frecuencias originales, permitiendo una variación rápida del timbre, sobre todo en la articulación de las palabras, donde la mandíbula, el cuerpo y la punta de la lengua, juegan un papel preponderante en la posición y variación rápida de los armónicos y consecuentemente de las formantes.

El sistema resonante origina la vocalización

Que la conformación educada del sistema resonante es la responsable de la vocalización, y de ninguna manera el sonido producido en las cuerdas, es fácil confirmarlo, preparándose para emitir cada una de las vocales y no emitiendo voz, es decir, no haciendo vibrar las cuerdas, sino simplemente dejando escapar el aire como en un susurro. La vocal se escuchará muy queda, pero perfectamente inteligible.

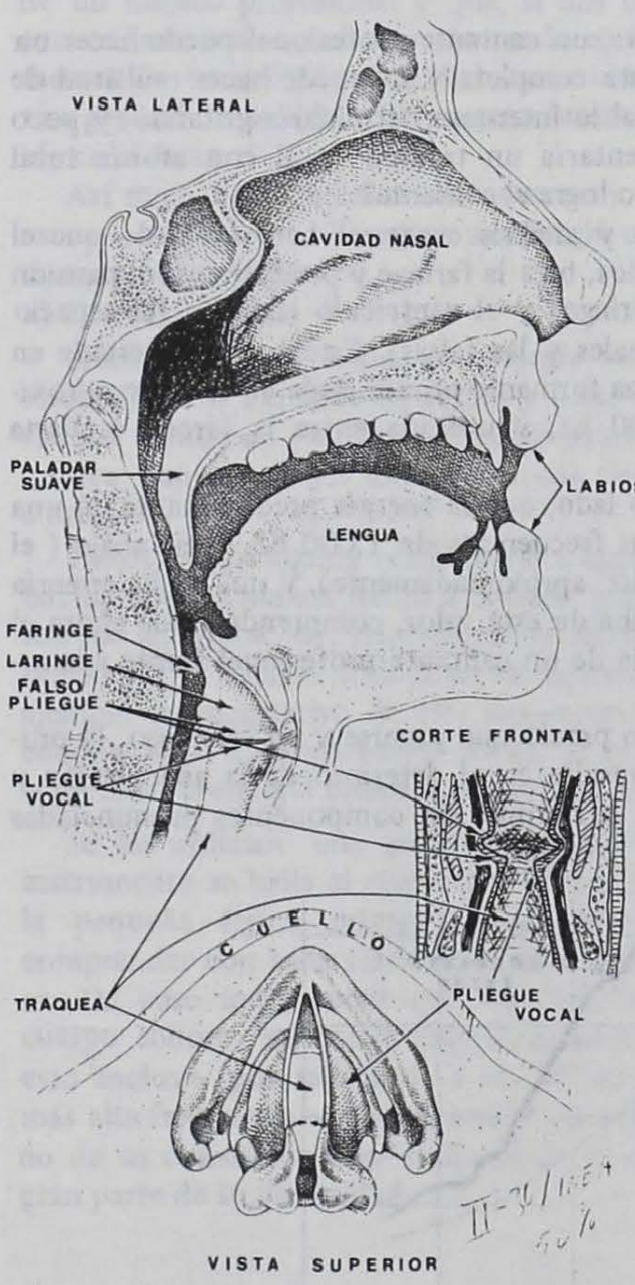


Figura II.30 Mecanismo productor y resonante de la voz.

Armónicas presentes en la voz

Otro sencillo experimento permitirá confirmar la enorme cantidad de armónicas presentes en la voz. Abrase la caja de un piano, quítese la sordina con el pedal y "cántese" una nota cualquiera frente a las cuerdas: el piano devolverá el sonido cantado no sólo con la resonancia de la fundamental sino con la octava, la quinta arriba, la doble octava, la tercera arriba y aún más para un oído fino, pues como se anotó, es posible hallar hasta el armónico número 35 en los sonidos vocales.

Con esto damos por terminado el estudio de la voz como instrumento musical, aunque... meditando sobre el tema y pensando sobre qué pregunta podría ocurrírsele al lector, me viene a la mente una que se me hizo en clase, en los términos siguientes: ¿Cuál es, pues, la diferencia entre un cantante profesional y una persona normal?, o en otras palabras, ¿los cantantes profesionales manejan el "instrumento vocal" en forma diferente?

La respuesta es afirmativa, un cantante profesional puede hacer oir su voz frente a una orquesta completa y lo puede hacer multitud de veces. Si una persona normal lo intentase, terminaría gritando, y poco tiempo después se le presentaría un trauma vocal con afonía total o parcial... sí, pero ¿cómo lo logra el cantante?

El cantante profesional produce una formante potente por los 2.5 a 3 Khz.

Estudios en radioscopía y análisis espectral han mostrado que el cantante al emitir los sonidos, baja la faringe y produce una expansión en su parte baja (de la faringe) y el ventrículo laríngeo (el espacio entre las cuerdas vocales reales y las falsas). Este hecho repercute en el sonido dando origen a una formante pronunciada en el rango aproximado de los 2,500 a 3,000 hz. y ubicada entre la tercera y cuarta formantes normales.

Si se considera, por otro lado, que la energía predominante en una orquesta es alrededor de las frecuencias de 1,000 hz. hacia abajo (el mayor nivel es en los 450 hz. aproximadamente), y que dicha energía disminuye rápidamente arriba de este valor, comprenderemos ahora el por qué de la predominancia de un cantante profesional frente a la orquesta.

Todo en la vida tiene un precio que pagarse y en este caso, la producción de esta formante resulta en el deterioro de la articulación y fraseología con respecto a la normal sin componentes pronunciadas en esta formante.

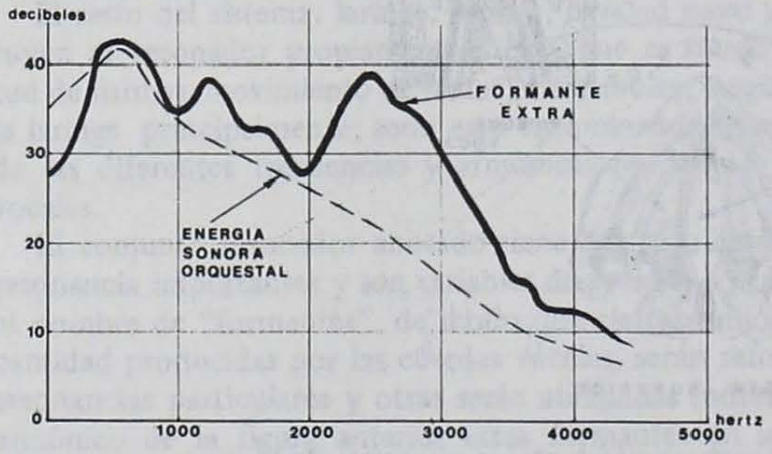


Figura II.31 Presencia de una formante extra en un cantante profesional.

Otras resonancias secundarias

Hemos pasado por alto otras resonancias orgánicas como la caja torácica, las fosas nasales, los senos frontales, la cabeza... pero aparentemente todos ellos juegan un papel secundario en el resultado final, y considerando que no fue nuestra intención desarrollar un tratado de la voz, ni el texto lo permite, aceptemos la sencillez de lo fundamental y demos por terminado su estudio.

6. Conceptos: *El sonido en el espacio*

El sonido en el espacio se verá en forma casi sinóptica

Podría pensarse que el comportamiento del sonido en el espacio es más del dominio de la acústica estructural... y se estará en lo cierto, y como tal, escapa a los propósitos de esta obra.

Hemos considerado, sin embargo, que el conocimiento de cómo se comporta el sonido en el espacio es necesario para redondear el criterio de un músico profesional y que, si nos constreñimos a una pequeña excursión sonoro-espacial, presentando en forma sinóptica las diferentes facetas de estos fenómenos, habremos ubicado al lector en la perspectiva general del sonido y sus características, sin una extensión considerable en el tema.

Así pues, nombraremos el fenómeno y daremos a continuación una escueta explicación. El orden se escogió como el más adecuado a una comprensión progresiva.

a) Direccionalidad.

Los cuerpos radían sus sonidos con una dirección de preferencia

Muchos cuerpos radían su energía sonora en forma de una onda esférica que se expande en el aire y hasta aquí, por simplicidad, hemos visto el sonido en esa forma. Muchos otros y quizá son la mayoría en la música, dan su energía sonora con una cierta dirección con preferencia a otras.

Todos hemos alguna vez llamado a alguien, haciendo una especie de bocina con las manos frente a la boca, gritando en la dirección que deseamos ser oídos, así, estamos produciendo un sonido direccional, concentrando la energía sonora en la dirección deseada. La figura es un ejemplo representativo de este fenómeno y podemos observar que la energía está concentrada al frente de la tuba y que alrededor existe la pérdida de energía indicada por la curva en decibeles.

La direccionalidad se representa en una gráfica polar

Se ha utilizado una gráfica circular, como era de esperarse, y el instrumento se halla al centro del círculo y en la posición indicada por la pequeña figura inferior. Una observación cuidadosa permitirá comprender con toda claridad la información que nos aporta esta gráfica. De paso indicaremos que mientras más alta es la frecuencia del cuerpo sonoro, se vuelve más direccional su transmisión en el aire, esto incluye por supuesto, a las bocinas o altavoces, donde las de más alta frecuencia son fuertemente direccionales y se debe tener cuidado de su colocación pues si el oyente no queda frente a ellas, perderá gran parte de su intensidad.

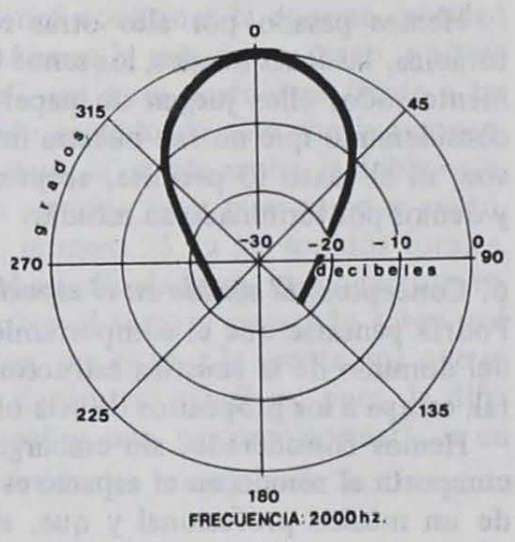


Figura II.32
Direccionalidad sonora de la tuba, en la frecuencia de 2,000 hz.

b) Interferencia:

Cuando dos o más ondas sonoras que viajan en el aire llegan a encontrarse, se produce el efecto llamado de interferencia, que adquiere diferentes características conforme a la forma del encuentro y el tipo de onda del sonido.

Los dibujos son casi autoexplicativos y sólo anotaremos al margen los nombres que recibe cada interferencia y alguna aclaración.

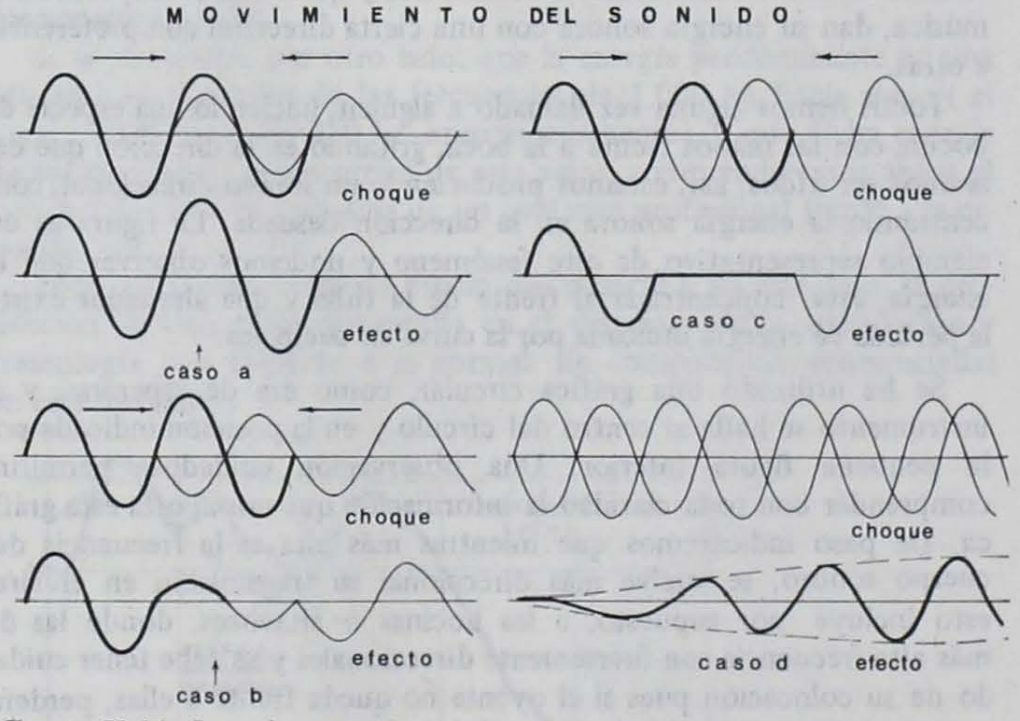


Figura II.33 Interferencia de varias ondas al encontrarse.

Interferencia aditiva

a. Las dos ondas son de la misma frecuencia y se encuentran en coincidencia de sus partes positivas y negativas, es decir, con la misma fase. Esta es interferencia aditiva, pues sus amplitudes son sumadas y la intensidad resultante en el área de interferencia, es la suma

de las dos. En la figura se puede observar como las partes positivas de la onda se suman positivamente y las partes negativas se suman negativamente, incrementándose ambas amplitudes, la positiva y la negativa.

Interferencia sustractiva

b. Similar al ejemplo anterior, pero la fase es inversa o sea que la parte positiva de una onda corresponde a la parte negativa de la otra en todo momento. Esta es interferencia sustractiva: sus amplitudes se restan y hay una disminución de la intensidad como resultante de la interferencia.

Interferencia total

c. Un caso especial del anterior, sucede cuando las dos ondas tienen la misma intensidad. Esta se llama interferencia total pues las dos ondas se anulan y el resultado será silencio. Debe comprenderse que la energía sonora no ha sido destruida, sino simplemente redistribuida, anulándose el movimiento molecular del aire por acciones iguales y contrarias. Este fenómeno sucede al conectar un sistema estereofónico con las dos bocinas con la fase invertida: en el centro de ambas hay una área de silencio que, si no es total obedece a que el sistema es estereofónico y lleva un material ligeramente diferente en ambos canales.

Pulsaciones: similar al trémolo

d. Si las dos ondas tienen una frecuencia muy cercana, se producirá una oscilación en la amplitud de ambas como resultado de las interferencias aditivas, sustractivas y totales que ocurrirán periódicamente entre las dos. Esta variación en la intensidad se llama pulsación o batimiento (*beats,* en inglés) y es de menor frecuencia mientras más cerca están las dos ondas, será nula si ambas notas son de la misma altura y será cada vez más alta, hasta desaparecer, si la frecuencia entre ellas se va separando. El número de pulsaciones por segundo es igual a la resta de la frecuencia de las dos ondas, por ejemplo, si las dos ondas son de 440 y 443 hz., se oirá una pulsación de 3 incrementos en la intensidad por segundo. La pulsación es real y no subjetiva (como se puede apreciar en la figura, donde la parte inferior nos muestra justamente el inicio de la pulsación al ir saliendo las ondas de su porción de interferencia total destructiva), y físicamente existente y tanto, que es usada por los afinadores de pianos y órganos para saber que la frecuencia de dos osciladores es igual (cuando la pulsación es nula). Esta pulsación es una especie de trémolo o modulación en amplitud, de muy baja frecuencia, que puede ir de 0 a unas 15 pulsaciones por segundo. El efecto es agradable y se produce voluntariamente como en la "vox celeste" del órgano, donde dos tubos oscilan a una frecuencia ligeramente distinta, dando la pulsación buscada.

c) Difracción.

Vamos a realizar, con imágenes, una pequeña excursión con un sonido viajando en el espacio. Lo iniciamos con la direccionalidad, que ya hemos explicado. Enseguida la difracción, que es la forma en que el sonido bordea un obstáculo hallado en su camino. La forma de bordearlo dependerá de las dimensiones y forma del obstáculo: si es pequeño lo envolverá y su afectación será mínima.

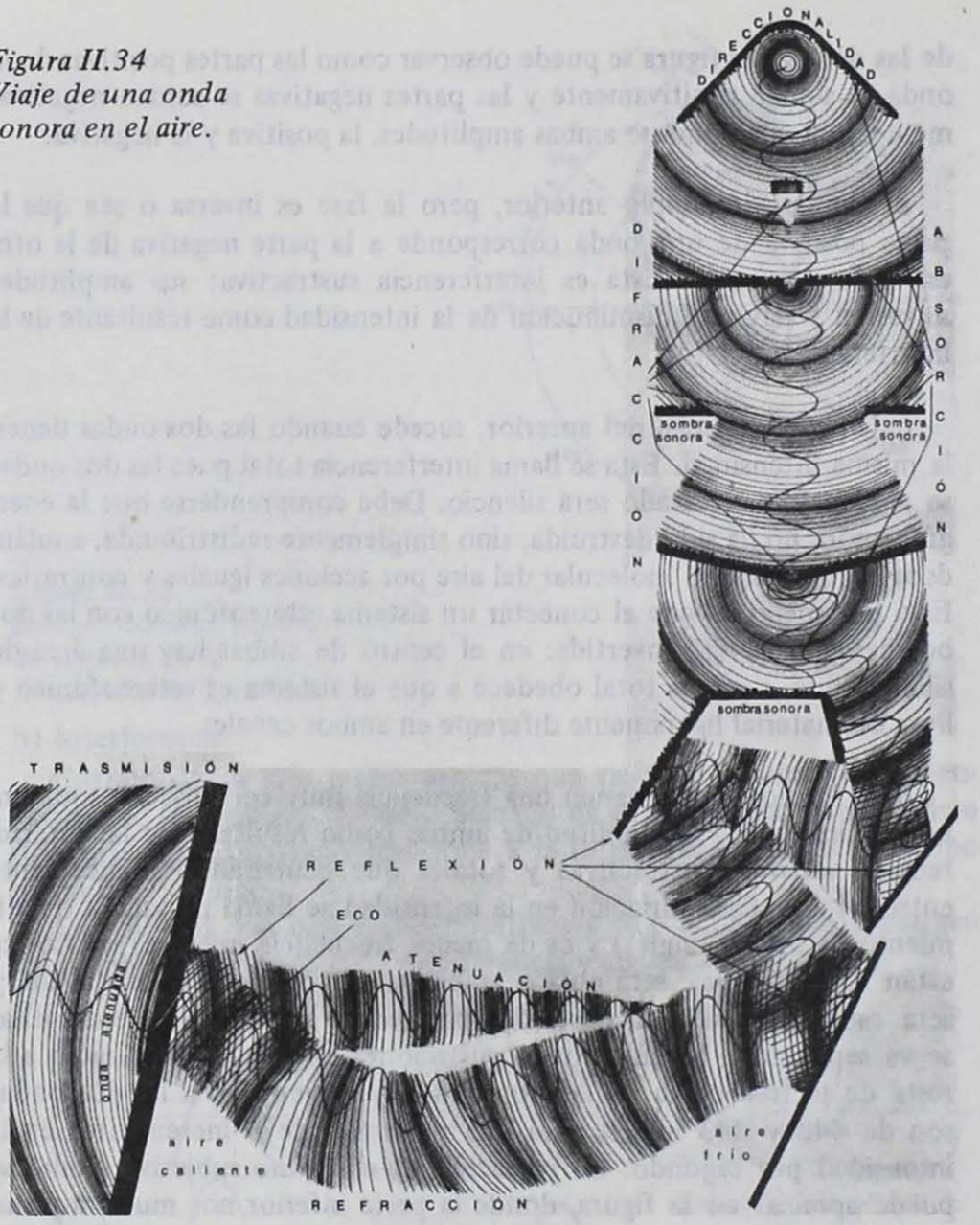


Figura II.34
Viaje de una onda sonora en el aire.

Si es grande y con una abertura, la mayor parte será (en nuestro caso) absorbida y una fracción pasará por la abertura y radiará como si fuese una nueva fuente sonora. Si la abertura es grande, la mayor parte del sonido pasará por ella sin modificar su curso y otra parte pequeña (en este caso) será absorbida por el objeto. En los dos últimos casos, se puede observar que la parte grande del obstáculo forma una "sombra sonora" ya sea que el sonido sea absorbido (en este caso) o reflejado, como veremos adelante.

d) Absorción.

Si el obstáculo hallado en el camino tiene una superficie porosa (como en los casos anteriores), el sonido sufre fricciones múltiples en la textura de la superficie del obstáculo (alfombras, cortinas o material acústico especial) y convierte su energía sonora en calorífica quedando absorbido o perdido en el material.

e) Reflexión.

Si por el contrario, el obstáculo tiene una superficie tersa, el sonido será reflejado en la misma forma que la luz en un espejo. El ángulo de llegada de la onda sonora al obstáculo será igual al ángulo de salida o de reflexión. Por supuesto que las superficies curvas concentrarán (si cóncavas) o dispersarán (si convexas) al sonido, al igual que las lentes en óptica, llamándose "lentes acústicas"

f) Refracción.

Hemos visto que el sonido viaja en el aire con una velocidad de unos 340 m./seg., pero la verdad es que esta velocidad varía con la densidad del aire, generalmente producida por diferentes temperaturas, así, si el sonido encuentra aire más denso, o sea más frío, su velocidad disminuye, y como es generalmente el caso, si el aire frío está en el suelo, el aire se refracta o desvía hacia él y esto permite oir sonidos a grandes distancias. Si por el contrario, el aire caliente está en el suelo, el sonido se refracta hacia arriba y se pierde en un corto recorrido.

La figura está altamente simplificada, de no ser así, se haría un enorme borrón en toda la hoja, pues el sonido viaja en todas las direcciones y penetra los lugares más recónditos y por ello sólo dibujamos la parte que nos interesa y omitimos el resto, aunque exista.

g) Transmisión.

El sonido se transmite en cualquier medio

Ya hemos visto la transmisión del sonido a través del aire, pero de hecho, el sonido se transmite en cualquier medio, sea sólido, líquido o gaseoso, y también de uno a otro. Al chocar contra un muro (en nuestra figura), parte de la energía es transmitida a través de la pared aunque sea absorbente, y llega del otro lado sufriendo cierta atenuación expresada en decibeles de pérdida, otra parte es absorbida como ya lo vimos y otra reflejada.

h) Eco y reverberación.

Eco y reverberación no son sinónimos

Son de hecho casos particulares de la reflexión, donde el oyente recibe la onda original y la reflejada.

Aunque, normalmente, se usan sin distinción, pues ambos representan el mismo fenómeno, el eco es la repetición de un sonido reflejado cuyo tiempo de retraso es no menor de un quinto (0.20) de segundo con respecto al sonido original. La reverberación es la multiplicidad de reflexiones agregadas al sonido original y normalmente ocurre en recintos cerrados. El tiempo de reverberación se define como el necesario para que la señal decaiga (o se reduzca) 60 decibeles de su valor original.

Con esto terminamos nuestra breve excursión espacial-sonora.

i) Efecto Doppler.

El efecto Doppler: alteración de la frecuencia por la velocidad

Finalmente, veremos un efecto que por medios artificiales se puede producir en el estudio electrónico y tiene aplicaciones estéticas, a juicio de varios autores-compositores.

Si una fuente sonora está en movimiento respecto al oyente (sea cual fuere el que se mueve, o ambos), el efecto Doppler se hace presente (el científico alemán Doppler lo descubrió y bautizó). Cuando la fuente sonora y el oyente se acercan, se percibirá una frecuencia

superior a la real pues el sonido es "empujado" (permítase esta expresión que describe con precisión lo que sucede realmente) hacia dentro del oído y más ondas entran por segundo. En el caso de alejarse uno del otro, menos ondas por segundo penetran, pues el sonido es "jalado" hacia afuera del oído. Todos lo hemos constatado en campo abierto, al acercarse un auto por la carretera el ruido del motor suena a cierta altura y al pasar frente a nosotros, baja la frecuencia súbitamente y continúa así al alejarse.

Los casos estudiados ocurren en la realidad en forma múltiple

Hemos visto cada aspecto de la transmisión sonora en el aire en forma separada y a veces en casos muy particulares. En la realidad todos ocurren simultáneamente y en toda mezcla posible de los casos que hemos estudiado, y así, cuando una onda que viaja en el aire incide sobre cierto obstáculo, habrá la direccionalidad que traía la onda, la interferencia con otras presentes, reflexión al chocar, absorción del obstáculo, transmisión del mismo al vibrar por efecto del choque, eco o reverberación conforme al lugar donde ocurra... en fin, como se expresó con anterioridad, cada sonido al llegar al oído lleva toda una historia impresa en él, desde su nacimiento hasta su desaparición en el espacio o en las terminaciones nerviosas cerebrales. Conocer los fenómenos sonoros, prepara al lector para un análisis lógico de lo que sucede al encontrarse en el escenario o en el estudio de música electrónica, con efectos sonoros en ocasiones muy extraños que en otra forma no podría explicar... ni repetir si fueron estéticamente bellos y desea manipularlos para una creación artística.

7. Aplicación práctica: *Los instrumentos musicales tradicionales*

Los instrumentos tradicionales dominarán el ámbito musical mientras el oído evoluciona a otros valores

Mientras llega el tiempo en que la música electrónica abandone la tradición (y ya ha habido varios intentos en esa dirección) y resuelva sus problemas sonoros en forma novedosa y original, no hay más remedio que seguir la secuela normal de la evolución lenta, apoyada en los principios y valores establecidos.

Mientras el oído, acostumbrado por siglos a ciertos timbres y armonías se libera de estas cadenas, seguirán teniendo entera validez, sin lugar a dudas, los instrumentos tradicionales que por siglos han condicionado al oído a su forma de ser y de comportarse. La adaptación y evolución del oído a las nuevas y extrañas sonoridades será lento y por ahora debemos conocer bien estos instrumentos y saber con precisión, como suenan y por qué. El tratamiento será genérico, con alusiones y ejemplos específicos aquí y allá. Lo que nos interesa es su comportamiento global y las reglas generales que podamos extraer.

Bajo un enfoque generalizado, podemos considerar que todos los instrumentos tradicionales están construidos en base a los tres elementos siguientes (las pequeñas variantes que puedan existir de esta estructura generalizada, la hacen aún más válida por su extrema sencillez):

Estructura generalizada de los instrumentos

1. Por un generador de onda compleja (cuerda, barra, aire vibrante, placa, membrana).

2. Por un control del generador, que en ocasiones es también la fuente de energía del generador. Este puede ser directo: dedos, boca, pie; o indirecto: tecla, arco, llave.

3. Por un resonador o acoplador eficiente entre la vibración y el aire: caja, tubo, placa.

Esta sencilla estructura puede extenderse y considerarse aún válida para los instrumentos modernos, en los cuales las tres componentes son electrónicas y contienen circuitos que corresponden a su fascímiles mecánicos.

Atributos de todo instrumento musical

El producto resultante de estos tres elementos, contiene los siguientes atributos:

A. Una oscilación o frecuencia.
B. Un timbre determinado.
C. Una cierta intensidad.
D. Una envolvente característica.
E. La direccionalidad privativa del instrumento.
F. Una serie de ruidos.

De hecho, cada instrumento tiene todos los atributos determinados e inseparables de él, pero lo que aquí nos interesa es la comprensión de cada uno de ellos por separado y es por ello que para cada uno daremos una explicación y algún ejemplo aplicado a cierto instrumento en concreto. Si todos son bien comprendidos, el lector podrá fácilmente y por sí mismo, hacer el análisis que desée sobre cualquier instrumento, pues son atributos comunes a todos, y con la posible excepción del grupo de percusiones, donde la frecuencia y el timbre no son siempre bien definidos, el resto de los instrumentos producen, o los contienen en su totalidad.

Al final de esta sección que cierra el capítulo de Acústica, el lector estará preparado para comprender todos los conceptos que se manejan en un estudio de música electrónica, sin sentir que los expertos "le hablan en chino".

A. El oscilador.

Por la forma de producción del sonido, los instrumentos se agrupan en: cuerdas, alientos y percusiones

En la forma de producción del sonido o frecuencia, los instrumentos tradicionales pueden ser divididos en tres categorías, sin mucho temor a dejar fuera algunas rarezas: cuerdas, alientos y percusión. Podríamos incluir un cuarto grupo, que como vimos en la historia, han hecho su aparición en este siglo y quizá con el tiempo desplacen a los otros tres grupos: los instrumentos eléctricos, o aún mejor, electrónicos.

Siempre bajo la forma de producción del sonido, otra subclasificación es posible: en las cuerdas, estas pueden ser rasgadas (guitarra, laud, arpa) o frotadas (violín, viola, cello, bajo) o finalmente golpeadas (piano, clavecin).

Los alientos pueden ser: simples tubos vibrantes (flauta, órgano, piccolo), de lengüeta simple o doble (oboe, clarinete, saxofón) o los labios que vibran (trompeta, tuba, corno).

En las percusiones, y ya no tanto en la forma de producir el sonido –que siempre es percusivo–, sino por el sonido que de esto resulta: de altura determinada (marimba, campana, xilófono) y de altura indeterminada (tambor, címbalo, gong).

Los eléctricos podemos agruparlos, también, atendiendo a su sonido resultante, puesto que todos los producen eléctricamente y aquí no hay clasificación posible y así, una clase será la de los que imitan a los instrumentos tradicionales (órgano, pianola, guitarra) y la otra clase, los que producen sonidos originales (theremin, ondas martenot, trautonio).

El sintetizador y la computadora son instrumentos omnífonos

Si el lector está acorde conmigo, podremos clasificar al sintetizador y la computadora en un apartado especial, que podríamos llamar instrumentos "omnífonos", o sea productores de cualquier sonido. Su estudio no será incluido aquí sino en los capítulos correspondientes, siendo por lo demás, el objetivo principal de estos escritos.

La perfecta comprensión de los intrumentos tradicionales capacitará al lector para la asimilación de los instrumentos electrónicos modernos, que son su prolongación lógica y natural; y muchos conceptos de aquéllos se utilizan en éstos. Por ello, seré un poco más extenso en esta parte final del capítulo.

Rango de frecuencia de algunos instrumentos musicales

La figura que presentamos a continuación, nos muestra el rango de frecuencia de algunos instrumentos musicales y de las voces humanas. Se ha anotado exclusivamente el alcance de las frecuencias fundamentales ya que las armónicas se extienden mucho más hacia las altas frecuencias y los ruidos de algunos instrumentos dan componentes de más baja frecuencia que la fundamental. Ambos casos se verán con más amplitud en sus partes correspondientes.

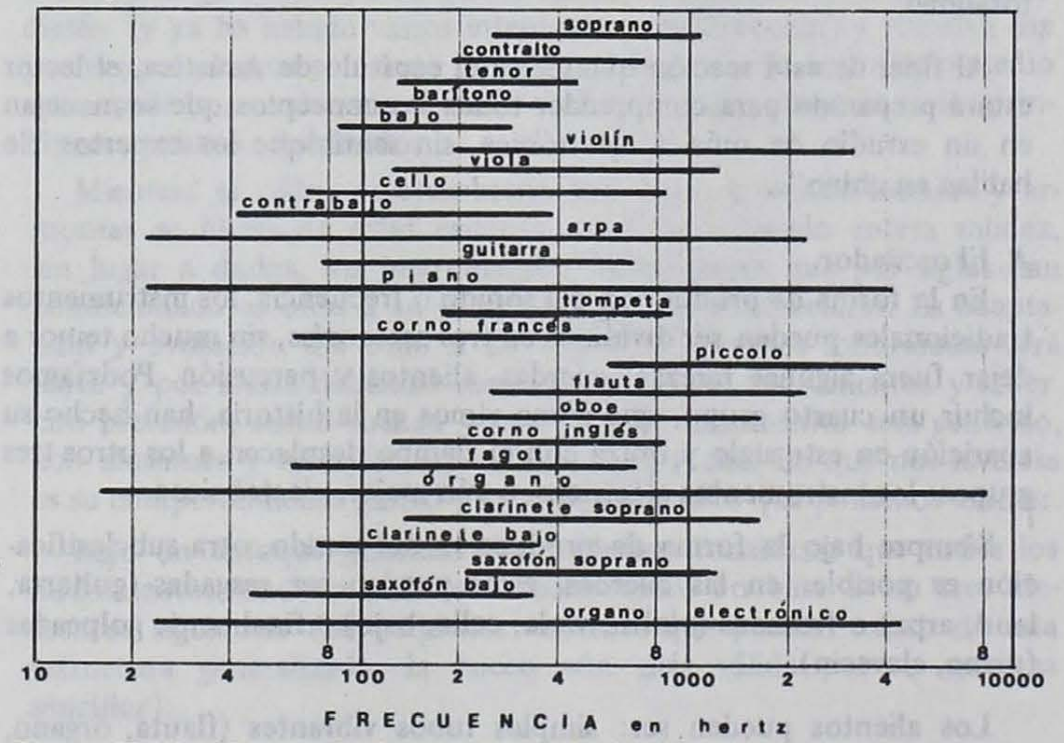


Figura II.35 Alcance de frecuencia de la fundamental de algunos instrumentos y voces humanas.

En muchos instrumentos y en la voz, se produce, junto con la nota y como un embellecimiento sonoro, el vibrato que, como vimos antes, consiste en una variación ascendente y descendente de la frecuencia en una gama aproximada de un semitono y a razón de entre 5 y 9 veces por segundo. En términos técnicos, esto es una modulación de frecuencia, como también se explicó y conviene recordarlo por este nombre.

Sonidos más alto y más bajo de la orquesta

Mencionemos de paso que el sonido instrumental más alto lo da el piccolo, con unos 5,000 hz.; y el más bajo el contrafagot, con unos 33 hz. El órgano, en su registro de 32 pies (unos 10 m., que es aproximadamente el largo del tubo que lo produce), es más bajo aún con unos 16 hz. y casi en el límite de audibilidad humana en el rango bajo.

El alcance de un piano de concierto es aproximadamente el de toda la orquesta, el del órgano es el mayor de todos.

La forma de onda de los osciladores de los instrumentos

El generador de todo instrumento produce una onda compleja, rica en armónicas y en su gran mayoría del tipo rampa o diente de sierra que como ya vimos, contiene las armónicas pares e impares de la fundamental. Algunos como el clarinete, dan una onda similar a la cuadrada con armónicas pares muy atenuadas (de hecho la segunda es casi nula).

Pensando en como se origina el sonido en la fuente sonora, es posible discernir la forma de onda que resultará, por ejemplo, en los instrumentos de arco la cuerda es jalada por la adhesión de la brea del arco sobre aquélla y esto es el ascenso de la onda rampa, hasta que llega un momento en que la tensión de la cuerda es tan grande que vence la adherencia de la brea y regresa repentinamente (esto es el descenso de la onda), sólo para ser capturada de nuevo por el arco embreado y repetirse el ciclo.

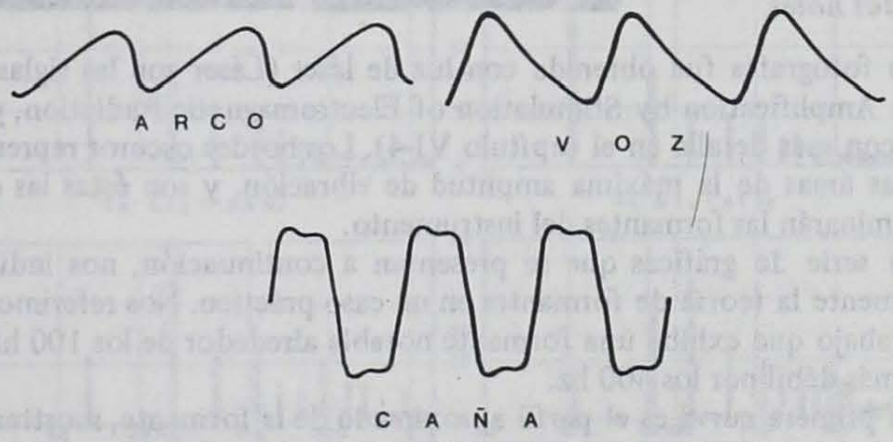


Figura II.36 Formas de onda de los osciladores de algunos instrumentos tradicionales.

En la voz, conforme se explicó en su oportunidad, también es rampa, pero de simetría inversa. En el clarinete, la caña tiene su posición de equilibrio estático, pero además, dos posiciones de equilibrio dinámico, conforme a su rigidez y la presión del aire del ejecutante, que al soplar obliga a la caña a vibrar entre estos dos extremos, pasando rápidamente de uno a otro. Si la caña es muy rígida, la onda será casi perfectamente cuadrada, pero si es más blanda, la onda se deformará un poco y aparecerán armónicas pares atenuadas (recuérdese que la onda cuadrada tiene la fundamental y las armónicas impares solamente).

B. Las formantes tímbricas.

La onda del oscilador es modificada por el resonador

La forma de onda producida es el origen del timbre del instrumento, pero esta forma va a ser modificada por el resonador, atenuándose ciertas armónicas y enfatizándose otras. Los rangos o zonas de frecuencia donde estas armónicas se vuelven prominentes, se conocen como las formantes de los instrumentos y desde luego que todos tienen más de una.

Las formantes están determinadas por las áreas de máxima amplitud del resonador, y estas áreas son aproximadamente las mismas para cada instrumento de la misma familia y para la misma nota, variando por supuesto de nota a nota.

La figura nos muestra en forma impresionante, la forma de vibración de una tapa de una viola, para dos notas dadas en tal instrumento.

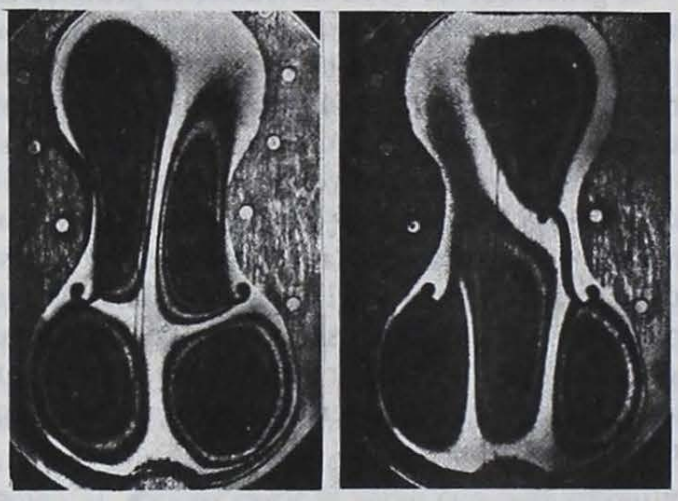


Figura II.37
Resonancia de la tapa de una viola para dos notas.

La fotografía fue obtenida con luz de láser (Láser son las siglas de Light Amplification by Stimulation of Electromagnetic Radiation, y se verá con más detalle en el capítulo VI-4). Los bordes oscuros representan las áreas de la máxima amplitud de vibración, y son éstas las que determinarán las formantes del instrumento.

Las formantes de un instrumento

La serie de gráficas que se presentan a continuación, nos indican claramente la teoría de formantes en un caso práctico. Nos referimos al contrabajo que exhibe una formante notable alrededor de los 100 hz. y otra más débil por los 400 hz.

La primera curva es el perfil aproximado de la formante, mostrando los máximos indicados. La gráfica número 2 es el espectro armónico de la onda rampa producida por la primera cuerda sola, previa a la resonancia del contrabajo y que contiene las armónicas pares e impares. La figura 3 es la respuesta del instrumento a la onda anterior y excepto por una pequeña ganancia en los 400 hz. aproximadamente, es casi igual a la rampa.

La figura 4 es la rampa producida por la cuerda Re_2, con 73 hz. aproximadamente y la figura 5 es la respuesta correspondiente del contrabajo, donde se hacen aparentes en forma perceptible, la primera y segunda formantes, con una resonancia que supera a la misma fundamental a la altura de la primera armónica, alrededor de los 146 hz.

Las figuras 6 y 8, corresponden a las formas de onda de las cuerdas La_1 y Mi_1 y sus correspondientes o sean las figuras 7 y 9, a las características de resonancia del instrumento, donde predominan las formantes propias del mismo.

Debe advertirse que no todos los instrumentos muestran sus formantes con la claridad de este ejemplo, que fue escogido especialmente.

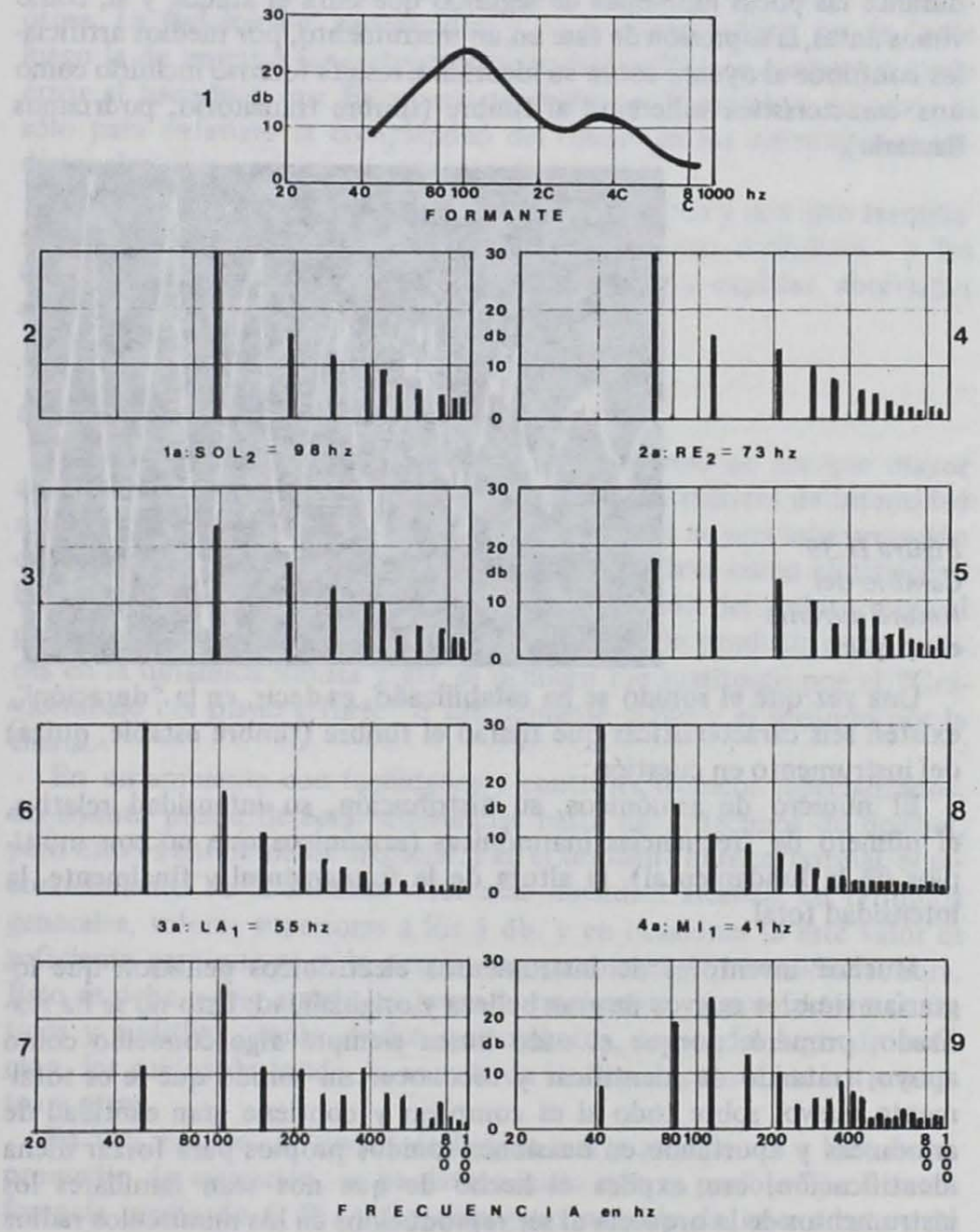


Figura II.38 Resonancia del contrabajo en sus 4 cuerdas al aire.

Es claro que el timbre es bastante más complejo que las gráficas indicadas, de hecho es el más interesante de los fenómenos sonoros instrumentales y uno de los menos comprendidos a la fecha.

Ya hemos visto antes, que una de las partes más importantes para que un instrumento sea identificado es el inicio de sus vibraciones o ataque.

El ataque de un instrumento es básico para su identificación

En la figura siguiente se ve el ataque de una nota de flauta, tomada con un oscilógrafo y una cámara de alta velocidad. Nótese que de ciclo en ciclo la forma de la onda va cambiando, esto se debe a un cambio en la intensidad de las armónicas (del orden de milésimas de segundo), y también contribuye la presencia del ruido normal del instrumento durante las pocas milésimas de segundo que dura el ataque y si, como vimos antes, la supresión de éste en un instrumento, por medios artificiales confunde al oyente sobre su identidad, resulta forzoso incluirlo como una característica inherente al timbre (timbre transitorio, podríamos llamarlo).

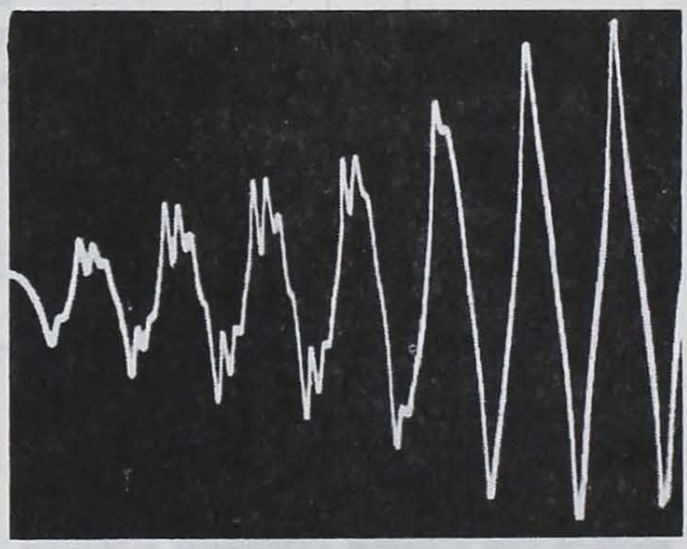


Figura II.39
Cambio del timbre durante el ataque.

Elementos del timbre

Una vez que el sonido se ha estabilizado, es decir, en la "duración", existen seis características que fijarán el timbre (timbre estable, quizá) del instrumento en cuestión:

El número de armónicos, su distribución, su intensidad relativa, el número de frecuencias inarmónicas (armónicos que no son múltiplos de la fundamental), la altura de la fundamental y finalmente, la intensidad total.

Dificultad de obtención de sonidos realmente nuevos

Muchos inventores de instrumentos electrónicos pensaron que lograrían timbres nuevos de gran belleza y originalidad. Esto no se ha realizado, primero, porque el oído busca siempre algo conocido como apoyo, tratando de identificar y reconocer un sonido que le es totalmente nuevo, sobre todo si es complejo y contiene gran cantidad de armónicas y aportando en ocasiones sonidos propios para forzar dicha identificación, eso explica el hecho de que nos sean familiares los instrumentos de la orquesta al ser reproducidos en los minúsculos radios portátiles, donde el tamaño de la bocina no logra sonar ni remotamente en todo el alcance y contenido armónico sonoro del original. En segundo lugar, el timbre, tal como se concebía originalmente, era una versión simplificada de este complejo fenómeno, puesto que el contenido armónico varía no sólo en el ataque de la onda, sino también de nota a nota y en el mismo instrumento, siendo así, como vimos en el contrabajo, que cada nota exhibe un contenido armónico totalmente diferente y esta complejidad aumenta al intervenir las otras características anotadas. Esta es también la razón por la que es extremadamente

difícil imitar instrumentos tradicionales en un sintetizador analógico, donde el contenido armónico se fija y queda estable a lo largo de la envolvente y de cualquier otra modificación que se le imprima al sonido. En el caso de la computadora, con su capacidad notable de resolver problemas complicados, se han llegado a imitar con entera perfección varios de los instrumentos más complejos como la trompeta, corno y otros. La función del sintetizador y de la computadora, no es desde luego la de imitar a los instrumentos tradicionales y se comete un craso error al hacerlo (error financiero también); si lo nombro de paso, es sólo para enfatizar la complejidad del timbre en los instrumentos tradicionales.

Considero que valió la pena extenderse un poco y con esto terminamos los aspectos de frecuencia y timbre –los más complejos– y los que restan, siendo más sencillos de comprender y explicar, abreviarán el camino del autor y del lector.

C. La intensidad.

El matiz instrumental: un recurso obligado en la música y no adecuadamente explotado

Uno de los recursos musicales, y sin duda uno de los que mayor atractivo presentan, es el múltiple juego de los matices de intensidad sonora que pueden dar los variados instrumentos en una interpretación de conjunto. Algunos instrumentos de gran belleza como el clavicémbalo y la flauta de pico o barroca, desaparecieron del ámbito musical por la imposibilidad o las grandes dificultades de producir estos matices en la dinámica sonora y así, el primero fue sustituido por el "Gravicembalo col piano e forte" o simplemente piano y el segundo por la flauta.

En un ambiente con facilidades y controles técnicos especializados, un oyente puede detectar diferencias hasta de 3 décimos de decibel, pero esto es enteramente artificial, y en el ambiente musical normal, el reconocimiento de la mínima diferencia dinámica alcanza, en términos generales, valores superiores a los 5 db. y en ocasiones ni este valor es suficiente para que el oído perciba un cambio en la intensidad sonora. Esto se debe a que entran en juego normalmente varios factores acústicos y auditivos, tanto de los instrumentos, como del lugar de audición, los ruidos de fondo, la mezcla de las armónicas de los instrumentos y otros.

Debe haber al menos 6 db. entre cada grado de matiz, para ser sentido por el oído

En una sala de conciertos de la vida real y atendiendo a los niveles promedio de ejecución, se ha determinado que es posible fijar una diferencia media de 6 db. entre cada paso notable de intensidad, y de acuerdo con esto, se tendrán 5 gradaciones normales para la dinámica musical, correspondiendo a las indicaciones: pp, p, mp, mf, f y ff; lo que nos da un total de 30 decibeles entre pp y ff.

La figura primera nos muestra que teóricamente, todos los instrumentos pueden producir al menos estos 30 db. Sin embargo, esta posibilidad de producción dinámica variará enormemente con el instrumentista y el ambiente en que se produzca, ya que estos valores fueron obtenidos individualmente y a 3 m. de distancia del instrumento.

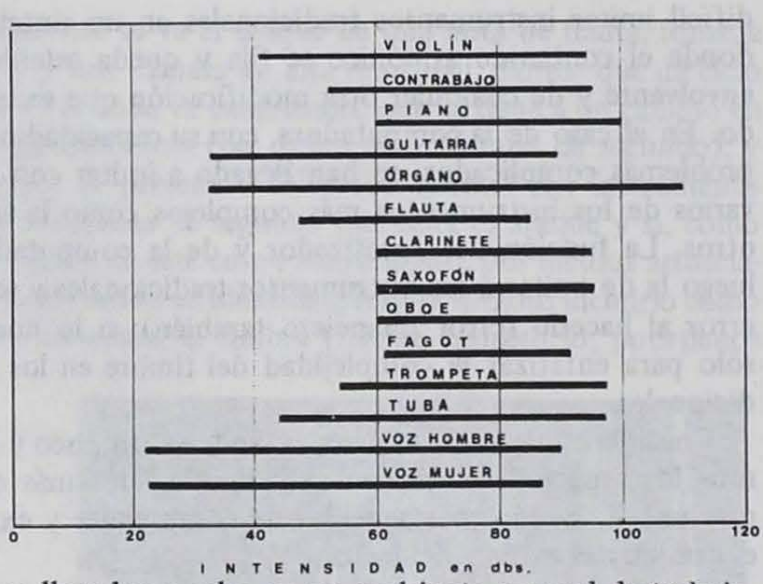


Figura II.40 Alcance dinámico teórico de varios instrumentos.

Los instrumentistas promedio, no producen el mínimo requerido para los 6 pasos de matiz, de pp a ff

En experimentos llevados a cabo en un ambiente normal de trabajo (en la Universidad de Massachussets, MIT), se solicitó a los instrumentistas su ejecución acostumbrada con la orquesta, ante las indicaciones dinámicas de las partituras y respecto a los 6 valores de intensidad. El resultado demostró que en promedio, se quedaban muy abajo del alcance mínimo de 6 decibeles por cada paso y la figura siguiente, nos demuestra que las 6 gradaciones de intensidad resultan, al nivel práctico de los instrumentistas promedio, poco menos que inútiles, y no porque el instrumento no responda (a Isaac Stern se le midieron 50 db. de diferencia en un concierto, a varios clarinetistas: 45 db., a fagotistas: 40 db. etc., y sin embargo, los oboístas rara vez excedían los 7.5 db. entre los extremos de pp a ff), sino porque resulta más cómodo para ellos el tocar en un rango restringido de 10 a 15 db. como promedio y muy a pesar de los compositores; en la práctica, y aunque resulte un tanto doloroso, las 5 gradaciones (o más) de sus partituras son inútiles... y costumbres hacen leyes en la "burocracia" musical.

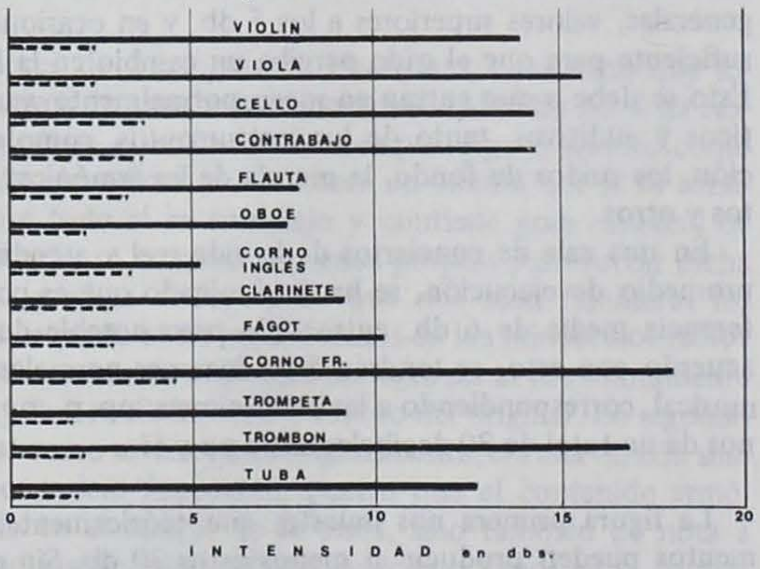


Figura II.41 Intensidad real producida por los instrumentistas en una ejecución promedio orquestal, entre el pp y el ff. La línea punteada indica la variación media dinámica entre pasos (muy lejos de los 6 db. mínimos requeridos).

D. Envolvente.

Los elementos de la envolvente

A estas alturas, y por las veces que con diferentes motivos hemos hecho alusión a la envolvente y sus tres elementos: ataque, duración y decaimiento, el estudiante debe estar ya familiarizado con este concepto y lo redondearemos con brevedad.

El ataque es el tiempo requerido por un instrumento para "construir" su oscilación a plena intensidad, y toma cierto tiempo porque las partes están en reposo y no llegan instantáneamente a su máximo (inercia de reposo). Esta parte es la más importante de toda la oscilación y tanto, que si se suprime es casi imposible indentificar al instrumento que la produjo (imposible en los de ataque breve). Contiene además de ruidos, una gran riqueza armónica y una gran variabilidad dinámica de ambos.

Instrumentos con decaimiento compuesto

El decaimiento es el opuesto del ataque, y como las partes del instrumento están ahora en movimiento, se requerirá cierto tiempo para que lleguen al reposo total (inercia de movimiento), o sea el silencio, una vez que cesó la excitación que produjo el sonido. El ataque y el decaimiento afectan a la frecuencia, intensidad y timbre de un tono. En algunos instrumentos donde hay más de un elemento vibratorio a la vez, como el piano, existen de hecho dos decaimientos o un decaimiento doble, si se quiere, donde después de una primera disminución de la intensidad, más o menos rápida, viene otra más lenta y duradera. Por esta razón, en algunos sintetizadores el decaimiento viene con dos tiempos ajustables en forma independiente.

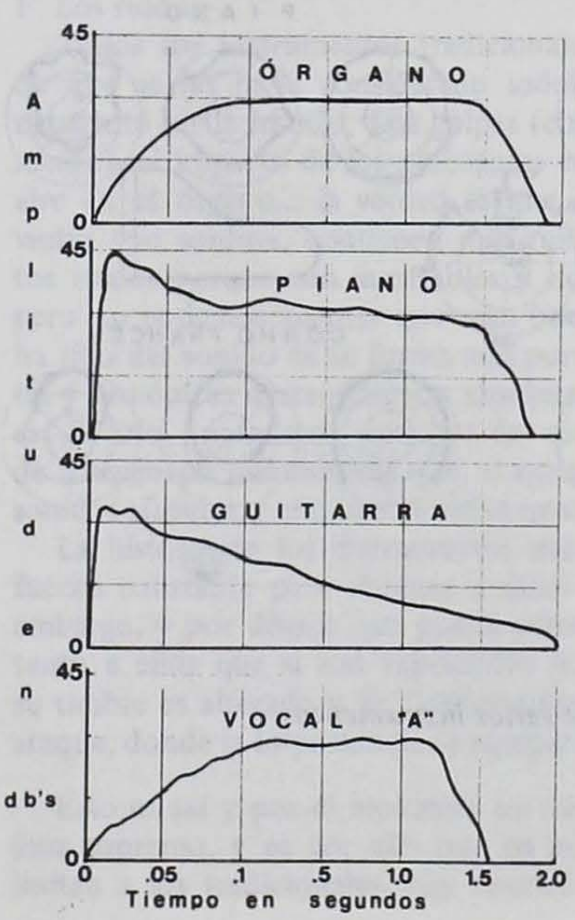


Figura II.42
ntes representativas
tipos más comunes
instrumentos y voz.

El decaimiento con portamento

Repetimos la figura II.26 ahora para enfocarla en forma ligeramente diferente. Las envolventes son representativas de los ataques cortos, medios y largos. Existe un caso especial de la envolvente llamada "portamento", que consiste en el paso de una frecuencia a otra en forma continua y sin brincos de frecuencia. En este caso, el ataque se realizará en una nota y el decaimiento sucederá en otra diferente al terminar el portamento, aunque también puede ocurrir el portamento simultáneo al decaimiento, confundiéndose ambos. El verdadero portamento sólo lo pueden producir los instrumentos sin frecuencias fijas, como la familia del violín y la voz humana; los otros incluyen saltos inevitables en la frecuencia y son portamentos aproximados.

En multitud de instrumentos se pasa directamente del ataque al decaimiento, directamente, sin existir, de hecho, la duración, esto sucede en todos los que se excita al vibrador por una sola vez y no es posible mantener la energía alimentándolo, como en el piano, guitarra, percusiones... La duración por lo tanto, podrá ser limitada como en los instrumentos de arco o aliento, donde una imposibilidad física impide su prolongación a voluntad. Podrá ser, además, ilimitada, como en el órgano, gaita y varios instrumentos eléctricos; y finalmente, podrá ser inexistente, como en los que vimos inicialmente.

E. La direccionalidad.

Los resonadores orientan su energía con cierta direccionalidad preferente

Ya vimos antes que los sistemas resonantes son esencialmente radiadores de vibraciones que se "acoplan" al aire, mejorando la eficiencia de radiación del cuerpo sonoro.

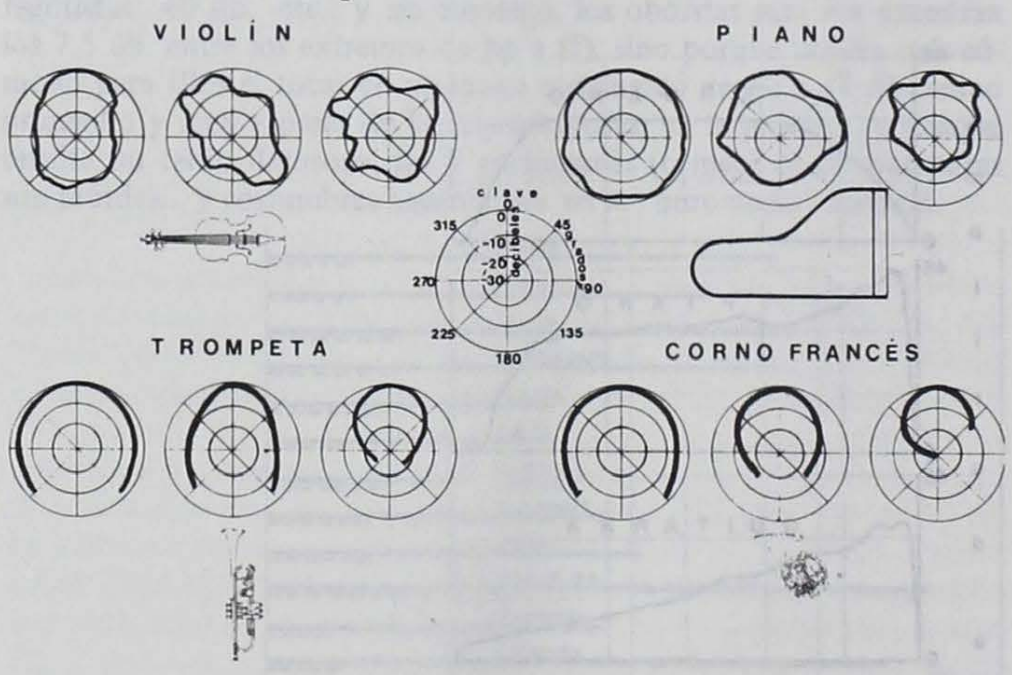


Figura II.43 Direccionalidad de varios instrumentos.

Todos estos sistemas resonantes exhiben una cierta direccionalidad preferente para radiar su energía. También hemos aprendido que la direccionalidad varía fuertemente con la frecuencia, siendo más direccional (unidireccional) mientras más alta es la frecuencia y menos (omnidireccional) cuando la frecuencia es baja. Ampliaremos algo más los conceptos diciendo que la intensidad debida a la direccionalidad, y también la calidad del sonido de cierto instrumento, variará con la orientación y distancia entre éste y el oyente.

Direccionalidad de algunos instrumentos

Las figuras anteriores nos indican los "lóbulos" de radiación (este es su nombre técnico) de algunos instrumentos a diferentes frecuencias. Debe considerarse que las figuras son la representación bidimensional de un fenómeno que ocurre en tres dimensiones, vamos a decir que los lóbulos son cuerpos en el espacio, que llevan la propagación del sonido, algunos como esferas deformadas, otros como globos de diferentes formas, cuya superficie une los puntos de la misma intensidad sonora y su representación en dos dimensiones en el dibujo, es su corte a lo largo del eje horizontal o perfil horizontal.

El instrumento se encuentra en el centro de nuestra gráfica y la línea gruesa es el perfil del lóbulo de radiación. La figura indica la orientación del instrumento y por ejemplo en el piano de cola, es la dirección de la tapa abierta es decir, su posición acostumbrada hacia el auditorio, en la sala de conciertos. Los demás son hacia el frente y en todo caso, la figura indica hacia donde se "apunta" el sonido.

Las figuras son bastante claras y dan una muestra típica de este fenómeno y no se insistirá más.

F. Los ruidos.

El ruido es inevitable en los instrumentos tradicionales

Todos los instrumentos tradicionales producen ruidos, y el hecho de que se les haya considerado indeseables no excluye su presencia constante en la música. Los golpes (clics) de las válvulas de los instrumentos, el impacto de los percusores en piano y xilófono, el ruido del aire en el órgano... la verdad es que el registro alto del piano y del violín con sordina, contienen más ruidos que sonidos. Aceptamos estos ruidos porque son inevitables y nos hemos acostumbrado a ellos, pero no podemos aceptar que sean buenos ya que la búsqueda secular ha sido del sonido en su forma más pura posible, para que la fundamental y armónicas destaquen con absoluta claridad y estos ruidos son, por así decirlo, verdaderos parásitos del sonido, pues introducen una serie de frecuencias inarmónicas que, si exceden los límites tolerables, crean sonidos ríspidos y chillidos positivamente cacofónicos.

El oído requiere del ruido para identificar a los instrumentos

La historia de los instrumentos musicales ha sido así, la de un esfuerzo constante para obtener sonidos bellos y eludir los ruidos y sin embargo, y por ilógico que pueda parecer, el oído se ha acostumbrado tanto a ellos que si son suprimidos por completo en un instrumento, su timbre es alterado y su "personalidad" cambia, principalmente en el ataque, donde la importancia es equiparable a la del mismo sonido.

Esto es así y por el momento no admite discusión, siendo el oído el juez supremo, y es por ello que en los instrumentos electrónicos que imitan a los tradicionales, hay necesidad de "ensuciar" la pureza del

sonido producido, "inyectando" una dósis de ruido a los sonidos para hacerlos parecer más "naturales", dado que el oído rechazará la extrema pureza de los sonidos carentes de ruido.

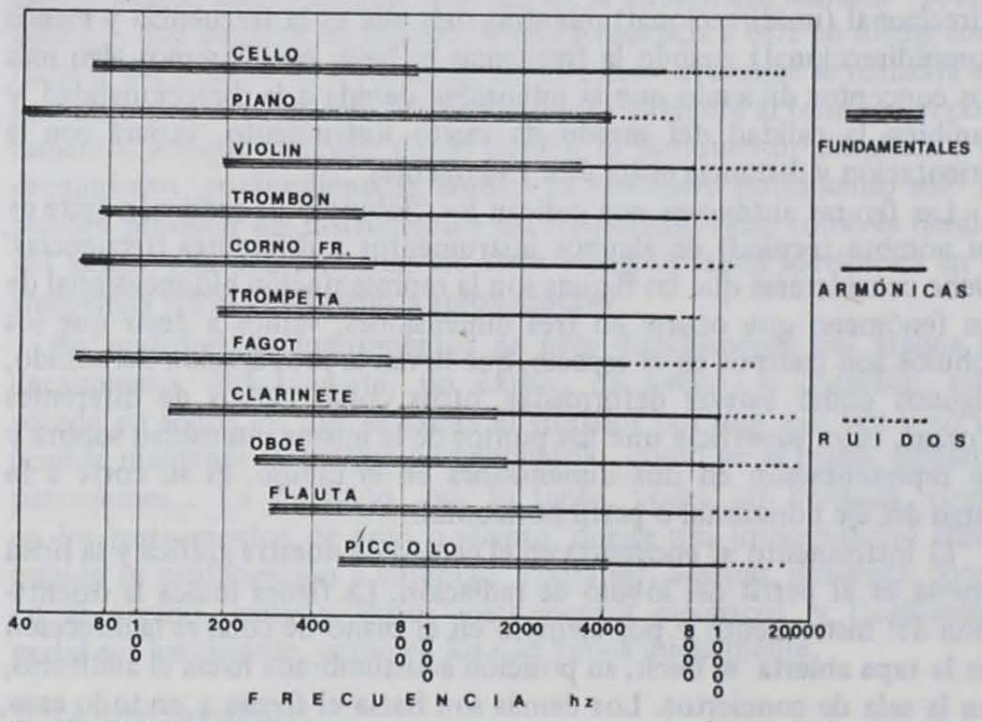


Figura II.44 Alcance de algunos instrumentos, incluyendo las armónicas y el ruido que los acompaña.

El ruido está en la parte alta de la frecuencia de los instrumentos

La figura nos muestra el alcance sonoro de algunos instrumentos, pero ahora incluye el ruido inseparable que los acompaña, que siempre, y en términos generales, yace en el extremo alto de la frecuencia, junto con las armónicas superiores, pero no por ello debe pensarse que sólo aparece en las notas altas, sino que entra como componente de todo el alcance sonoro en forma de ruido de alta frecuencia, al igual que las armónicas que están presentes en cada nota y modifican su timbre, aunque su ubicación frecuencial sea en la parte superior del espectro sonoro.

8. Apéndice A: Las oscilaciones en la naturaleza

Presentamos al lector una tabla que nos muestra la relación simplificada de los fenómenos vibratorios en la naturaleza.

Las oscilaciones descubiertas en la naturaleza y como se detectan y utilizan

La tabla se inicia con los infrasonidos o infraudibles, es decir, las oscilaciones de menos de 16 hertz en donde se puede acomodar el péndulo, el metrónomo, las mareas, la oscilación térmica anual y diaria y también la rotación terrestre, el ciclo de manchas solares, etcétera.

Ya vimos que muchas de estas oscilaciones pueden ser detectadas por el tacto o la vista, pero es sólo a partir de los 16 hz. que el oído comienza a percibirlas. Debe advertirse que muchas ondas complejas pueden ser oídas abajo de esta frecuencia, pero no ciertamente como oscilación con cierta altura fundamental bien determinada, sino como un golpeteo o ruidos isócronos.

Frecuencias audibles

De 16 a 16,000 hz. es el rango en que el oído es sensible y por supuesto que el tacto también puede sentir la oscilación a condición que sea de baja frecuencia y de intensidad media a alta, y que se esté en contacto con la fuente sonora. Este rango audible, se presenta amplificado en la gráfica, mostrando el teclado de un piano completo como referencia para algunos instrumentos tradicionales en sus alcances sonoros de frecuencia, y las voces humanas.

Radiocomunicación

De 16 Khz. a 10,000 Mhz. aproximadamente (Kilo, abreviado K, significa mil; Mega, abreviado M, significa un millón) se hallan la telegrafía, radionavegación, radiodifusión –onda corta y larga, frecuencia modulada–, televisión, radiometeorología, más o menos en ese orden.

Microondas

Las microondas (telefonía, enlaces de televisión, satélites y también hornos para cocinar), se hallan entre los 300 y 300,000 Mhz. A partir de 10^5Mhz. aproximadamente (el exponente indica el número de ceros después del 1, o sea las veces que 10 se multiplica por sí mismo, así, 10^6 sería la forma abreviada de expresar un millón), se inician los rayos infrarrojos o caloríficos, y le siguen, en un pequeño rango de frecuencia, entre 10^8 y 10^9 aproximadamente, las frecuencias que la vista percibe como luz. Esta porción también está amplificada, mostrando el arcoiris o espectro cromático del rojo al violeta. De este último color sigue el ultravioleta o luz negra, después los rayos X suaves, que se van convirtiendo en fuertes con el aumento de frecuencia y de su poder de penetración, utilizados extensamente en la radiología.

El calor

La luz

Ultravioleta

Rayos X

Siguen en las frecuencias crecientes, los rayos designados por las letras griegas: alfa, beta y gama, emitidos por los materiales radioactivos. Finalmente, en los alcances conocidos de la frecuencia: los rayos cósmicos, que no son sino las partículas de altísima velocidad y oscilación que nos llegan procedentes del espacio exterior y que nos bombardean incesantemente, perdiendo su energía en diferentes niveles de nuestro mundo, desde la atmósfera superior, hasta muchos metros bajo tierra, estos últimos traspasándonos completamente. De este límite en adelante, son desconocidas, tanto la existencia como la estructura de las oscilaciones que existen como continuación del espectro.

Los rayos cósmicos

Los ultrasonidos

Deseo hacer otras anotaciones respecto a las frecuencias del extremo superior audible. De 16 Khz. en adelante existen multitud de ultrasonidos, tales como el grito del murciélago, o el silbato para perros (inaudible al ser humano) y muchos más incluyendo las armónicas de los sonidos complejos en los registros altos de la voz e instrumentos y aunque todos ellos aisladamente son inaudibles por el oído humano, su importancia reside en la alteración del timbre al cambiar la forma de onda del emisor sonoro.

Radiación electromagnética

Ya hemos visto en el texto, que la velocidad de propagación del sonido en el aire es aproximadamente 340 m./seg. Ahora bien, en las frecuencias superiores a los ultrasonidos, la transmisión ya no se realiza a nivel de las moléculas del aire sino al nivel de radiación electromagnética y su velocidad (que es una constante universal) es de 300,000 km./seg. Para ponernos en perspectiva, esto significa que un oyente frente a su radio a mil kilómetros de distancia de un concierto, recibe el soni-

do de la orquesta primero que un asistente a la sala situado en el fondo del teatro. También es por ello que el relámpago se ve antes –en ocasiones mucho antes–, de oirse el trueno, aunque ambos ocurran simultáneamente. La diferencia es que en el sonido se requiere mover las moléculas del aire y de allí su lentitud, en cambio la radiación electromagnética se realiza a nivel de partículas y radiaciones, las que se mueven con la mayor velocidad conocida del universo, ya sea en el aire o en el vacío absoluto de los espacios cósmicos.

Una exposición de las teorías recientes de la luz y electromagnética, escapa a los alcances de esta obra, pero diremos que actualmente se admiten las dos teorías básicas de la transmisión: la hipótesis ondulatoria, que explica perfectamente los fenómenos de propagación, y la teoría cuántica o corpuscular (cuantos de energía o fotones), para explicar los fenómenos de emisión, absorción y dispersión de las radiaciones. De este modo, la transmisión se realizaría en invisibles "paquetes de ondas", como se les llama en física.

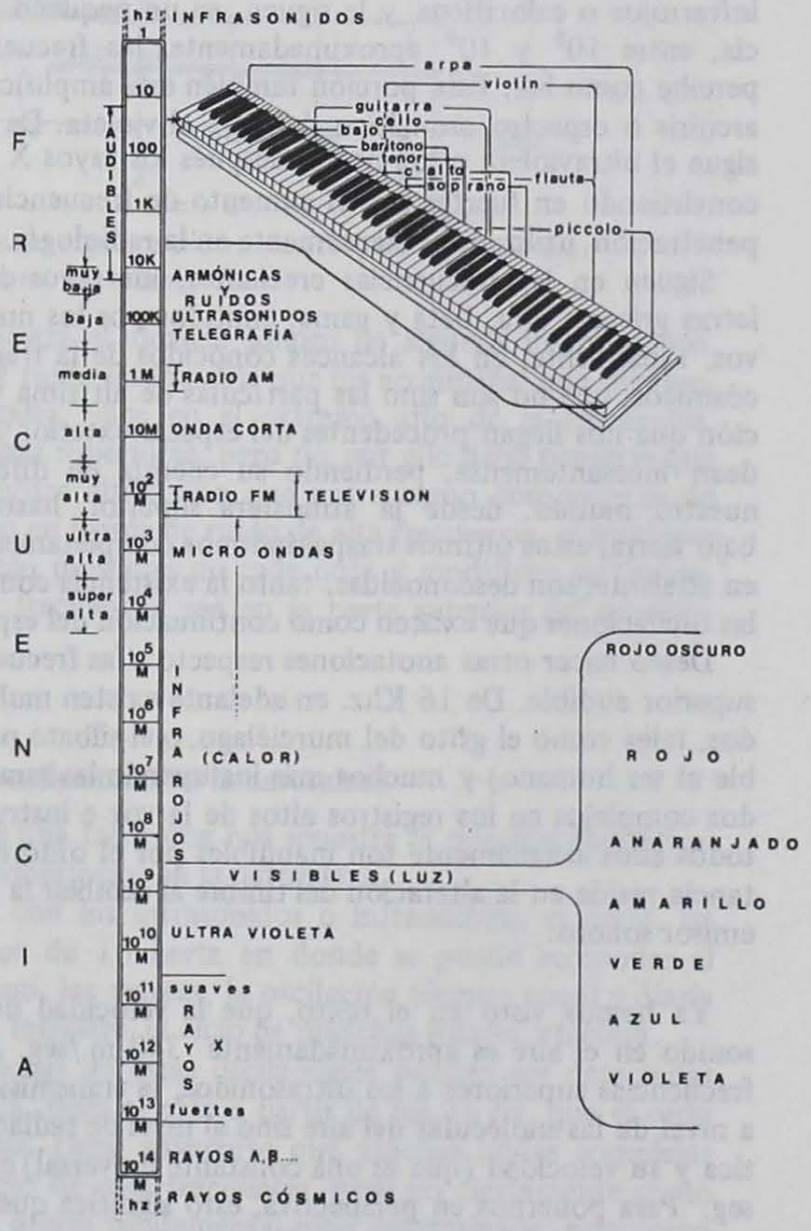


Figura II.45 Frecuencias en la naturaleza.

Apéndice B: El color en la música

A propósito del diagrama de frecuencias en la naturaleza del apéndice A, tengo el convencimiento que el aspecto del color en la música es un tema que debe tocarse, aunque sea sólo superficialmente, pues las teorías sobre la relación de los diversos colores con las notas musicales se escuchan a cada momento.

Se verá la relación entre los colores y las notas

En mis años de "ingeniero musical" y de maestro de electrónica aplicada a la música, he discutido este tema en múltiples ocasiones, desenmascarando sofismas y aclarando dudas y confusiones.

Todos sentimos la mezcla íntima entre la música y el color, y por ello han surgido la escala cromática, el ruido blanco, la soprano coloratura, los colores orquestales... o a la inversa: los tonos estridentes en la pintura, los agudos o los bajos. Todo esto recibe su nombre técnico como "sinestesia" o sea la asociación de un tipo de percepción (visual, por ejemplo) con la de otro sentido (auditiva en nuestro caso); y esta asociación del color con los tonos musicales es tan vieja como la música misma, atribuyéndose a Tolomeo (siglo II) los primeros intentos de establecer una interrrelación entre ellos.

La sinestesia: asociación entre los diferentes sentidos

El tema es necesariamente extenso y tendremos que reducirlo, primero, a una relación suscinta de la física del fenómeno, enseguida, a una mera sinopsis de algunos casos tomados de la historia en lo que se refiere a esta explicación, y finalmente, la descripción de algunos instrumentos construidos para fundir, por así expresarlo, la audición y el colorido musical.

El más importante de todos y que constantemente se le ve renacer de sus cenizas, como al ave Fénix, es la asociación de los colores con la altura de los sonidos. Esta asociación se ha defendido en muchas ocasiones (aun en nuestros días) sobre la base de que tiene justificación matemática y esta defensa se plantea sobre dos formas principales:

- La escala musical se puede acomodar en el espectro visual, los rojos correspondiendo a los graves y los azules a los agudos, con todas las gradaciones intermedias. Este sofisma se originó con algunos experimentos del siglo XIX y principios del XX, que veremos más adelante.

Asociación de los graves con los rojos y agudos con los azules

En los tiempos presentes se venden en el mercado varios aparatos los que, conectados a un amplificador sonoro por un lado y a un sistema de luces por el otro, presentan los colores en la forma descrita: los graves encienden luces rojas y los agudos azules, con los intermedios atendiendo al arco iris. Esto no es sino un mero artificio eléctrico y se pueden conectar con la misma facilidad en forma inversa: que los graves enciendan las luces azules y los agudos las rojas, o como se desee. Más técnicamente, es fácil demostrar que esta correspondencia es una ilusión, pues los sonidos audibles se extienden unas 10 octavas y los colores ocupan menos de una en su espectro visible y así, no existe posibilidad alguna de que las armónicas de 10 octavas quepan en menos de una.

- La segunda asociación es más difícil de rebatir, pues su planteamiento es más sutil y ha tenido de su parte a verdaderas personalidades científicas. Nuestro ya conocido Kircher (1620-80) afirmó que todo lo visible podía hacerse audible y viceversa. Más científico en su afir-

Asociación de cada escala con los colores fundamentales

mación fue Newton y en su obra *Optik* (1704), al plantear la descomposición de la luz en siete colores (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo o añil y violeta) recalcó su analogía con las siete notas de la escala musical, en esta forma cada octava correspondería al arco iris o espectro cromático completo.

Si cada octava sonora al ir progresando hacia las frecuencias superiores, es armónica de la anterior, duplicando en forma exacta sus frecuencias, pasará naturalmente más allá de los sonidos y seguirá hallando armónicas superiores en radio, televisión, micro ondas, calor, hasta llegar a la luz visible. Como la luz abarca casi una octava, es intuitivo el pensar que allí es posible acomodar una serie armónica de la octava musical.

Varias razones van en contra de esta aparente lógica:

La luz visible es menos de una octava de frecuencias

– La luz visible no abarca una octava completa, y aunque es variable con la percepción de cada persona, en términos generales y promediando los datos investigados, se puede concluir que abarca de los 450 millones a los 780 millones de Mhz.

Si no es una octava exacta, la serie armónica queda incompleta, pero además, como la percepción es subjetiva y varía tanto en el sonido como en la luz, el acomodo luminoso de menos de una octava en 10 u 11 sonoras variaría, de persona a persona, entre amplios límites.

No hay que olvidar por otro lado, que la transposición frecuencial fue considerable para pasar del sonido al color, y que un error despreciable e inaudible en el sonido, al llevarse hasta el color daría un error amplificado al llegar a su cuarentava armónica, produciendo un corrimiento considerable de colores, para un error sonoro despreciable. Se puede argüir que para completar la octava se puede tomar algo del infra rojo y el ultravioleta, pero ya no son visibles y la consideración es forzada.

Entre una nota y otra hay un factor constante

– Para pasar de una nota a otra se multiplica la más baja por la raíz doceava de 2 o sea 1.059 aproximadamente en la escala temperada. Los colores, por otro lado, se funden uno en otro sin gradaciones perceptibles y esta relación es inexistente. Además, el rojo y el violeta se extienden considerablemente a los dos lados del espectro y entre ellos dos abarcan la mayoría del espectro visible. Aún pensando en términos microtonales, la octava (o fracción) sería predominantemente roja y azul.

Dos notas simultáneas no dan una tercera nota

– Al tocar dos notas, el oído las percibe independientemente, conservando cada una su lugar en la octava. Al mezclar dos colores, ambos desaparecen dando lugar a uno nuevo, con una frecuencia diferente en el espectro, o en otras palabras, se produce únicamente un corrimiento espectral, algo así como si al sonar dos notas estas no se oyeran y en su lugar sonara una sola y diferente a las dos originales.

La conclusión es, pues, que no existe una relación matemática entre las frecuencias sonoras y las lumínicas.

Sin embargo, la identificación sicológica entre la música y el color es un hecho y veremos algunos aspectos enseguida:

Muchas personas evocan colores al escuchar la música, sean en relación con compositores, timbres, escalas y hasta simples notas, algunos ejemplos:

Relaciones sinestésicas

- La música de Mozart es azul, Chopin es verde, Wagner es luminoso con colores cambiantes. (Neurosicólogo Flournoy, de experimentos en pacientes músicos).
- Para facilitar la lectura de las partituras, se suguiere... el negro para cuerdas y voces, rojo para metales y percusión, azul para las maderas (Bosanquet, Asociación Musical Internacional, 1876).
- Beethoven se refirió en ocasiones a la escala de Si menor como "la escala negra".
- El serio tratadista y teórico alemán Riemann, en su libro sobre Bach, se refiere a la escala de Mi mayor como "el verde oscuro de la avanzada primavera".
- En un estudio sobre los músicos y los colores que relacionaban a las escalas, se encontró que las claves con sostenidos sugerían colores brillantes, y con bemoles, tonalidades oscuras. Casi todos los músicos estuvieron de acuerdo con lo anterior, aunque se encontró una casi total divergencia en cuanto a los colores que sugería cada escala.

Lo anterior debe bastar para confirmar la constante interrelación color-música entre los músicos profesionales. El sicólogo Sabaneef, tratando de dar una razón a los fenómenos expuestos, realizó un análisis detallado en unos 250 músicos y concluyó: "Las personas con una percepción restringida sobre la frecuencia o altura musical, normalmente se desvían hacia una relación visual de color" (esta conclusión ciertamente no beneficia a los alemanes, músicos por excelencia, quienes designan al timbre como "Klangfarbe" o color tonal).

La percepción restringida de la altura, desvía a una asociación con el color

Nos referiremos ahora a los intentos de instrumentos híbridos de música y color, construidos para realizar el matrimonio de ambos.

Los instrumentos cromomusicales

Por el año 1720, Bertrand Castel publicaba un tratado sobre "La música en colores" y afirmaba las teorías en él expuestas, con un clavecín ocular en el cual las teclas activaban cintas de colores a través de las cuales pasaba luz...de velas, por supuesto. Poco éxito era de esperarse sin la ayuda de la electricidad, pero tiene el mérito de constar como el primer intento serio en esta dirección.

En el año de 1789 el científico Erasmus Darwin hizo un clavecín para "música visible" y las teclas eran controles para mover pantallas con vidrios de colores, iluminados por detrás con lámparas de aceite. A juzgar por el año, con toda seguridad que ambos intentos fueron influidos por las aseveraciones de Newton que vimos antes.

Los finales del siglo XIX vieron gran actividad en esta especialidad, con la aparición de la electricidad y la luz incandescente. Los instrumentos principales y más conocidos fueron:

El órgano de colores

El órgano de color de Rimington (1895), que no producía sonidos sino que proyectaba en una pantalla juegos de colores, los que se acompañaban con piano o bien con una orquesta, con obras compuestas al caso. El autor trabajaba sobre una escala de colores de 12 tonos

(altura de color) y para moverse en un ámbito de varias octavas, sólo aumentaba la luminosidad. Las partituras y el teclado eran los convencionales de música.

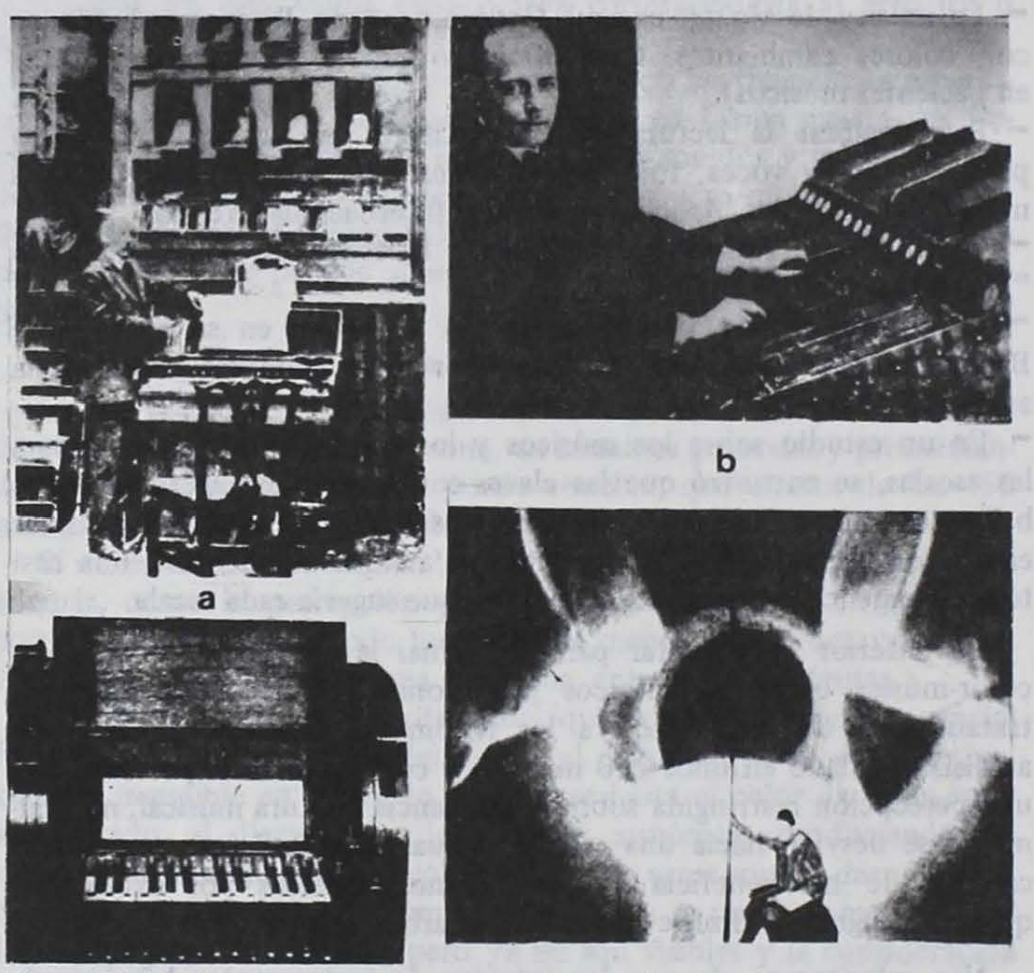


Figura II.46 Algunos instrumentos para producir colores. a) el órgano de Rimington, b) el Clavilux de Wilfrid.

El clavilux con imágenes luminosas abstractas

El Clavilux de Wilfrid (1922), que proyectaba sobre una pantalla figuras fantásticas de colores, llamadas "música de color", que se movían rítmicamente y cambiaban de color y forma constantemente, imprimiéndoseles también diferentes intensidades luminosas. Originalmente también se hacía acompañar por orquesta, y por el año de 1926 iluminó un concierto para presentar Scherezada de R. Korsakoff, auxiliado por el famoso director Stokowsky.

Una gran profusión de instrumentos cromo-musicales aparecieron a principios de este siglo, pero no eran sino variantes de los tipos anteriores, por lo que su ennumeración no pasaría de ser una lista de nombres y autores sin ninguna utilidad didáctica para el lector y preferimos omitirla.

Esta inquietud sobre el color aparece en obras tan recientes como "Prometeo" de Scriabin o "Die Glückliche Hand" de Schönberg, donde los autores señalan detalladamente en las partituras sobre el juego de colores que se deberían proyectar en una pantalla durante la ejecución de las obras (recuérdese que Schönberg era pintor además de músico).

Estas obras han pasado al repertorio musical con supresión del color previsto originalmente.

Muchos de los instrumentos electrónicos recientes, especialmente los que imitan a los tradicionales, introducen colores, tanto en las partituras como en los registros, ritmos, etc., pero siendo esto ya del tipo educativo o mnemónico solamente, damos por terminada esta corta excursión por el mundo del color en la música, reservando para el capítulo final de la obra, los espectáculos actuales, plenos de color, en computadoras, láser, osciloscopios y en una palabra los multimedios, como se ha dado en llamarlos.

9. Conclusión

El curso fue muy corto, pero se cubrió lo básico para un músico profesional

No es mucho lo que se puede concluir en un cursillo de acústica musical, que desde luego no representa un tratado, sino sólo una guía general para que el estudiante tenga las herramientas más importantes para poder analizar los casos particulares que se le presenten en el estudio de música electrónica y también en el terreno de la música tradicional.

La música es un arte, pero lleva implícitos muchos principios y aplicaciones científicas, y el desarrollo fenomenal de la tecnología moderna la está afectando hasta sus fundamentos. En otros tiempos el artista podía esquivar cómodamente la ciencia y la tecnología de la época, y vivir su arte sin problemas de ninguna especie. Los tiempos que corren son muy diferentes y aún los artistas más recalcitrantes al arte moderno y conservadores hasta la médula, no pueden esconderse ni evitar el tropiezo con los artistas de vanguardia y sus manifestaciones y tarde o temprano se ven obligados a opinar en entrevistas... y también a censurar lo que han visto y oído. Personalmente debo confesar que muchas de esas entrevistas y declaraciones revelan un desconocimiento casi total de los principios básicos de acústica en los músicos profesionales que deberían tenerlos.

El arte moderno usa con profusión los principios estudiados

El arte moderno –profundamente tecnológico– podemos despreciarlo o impulsarlo, podemos criticarlo o ayudar a su perfeccionamiento; lo que no podemos es borrarlo del tiempo y el espacio actuales. De unos veinte años a la fecha, ha surgido una generación híbrida de científicos-artistas que están dando un enorme impulso al arte en todas sus manifestaciones. Mi sentir personal es que eventualmente desaparecerán del escenario y su lugar será ocupado por artistas puros; sin embargo, serán artistas de una nueva generación: más cultos en cuestiones científicas, más conocedores de las herramientas y técnicas que se utilizan y más dispuestos a pasarse una noche, no creando una obra de arte, sino estudiando una nueva tecnología o máquina que conviene al logro de sus intenciones artísticas. Digamos que es una especie actual y novedosa de renacimiento del cuadrivio antiguo.

Desde el capítulo siguiente, y en lo que resta del libro, entraremos de lleno a las aplicaciones tecnológicas sobre la creación musical y artística de nuestra época. Al artista que no comulgue con estos sistemas ni desee conocerlos, al menos me permito recomendarle que relea el

capítulo que hemos concluido para, llegado el caso, sepa criticar con absoluto conocimiento de causa y esté bien familiarizado con los conceptos acústicos y científicos que el nuevo artista utiliza con profusión en sus creaciones, como se verá a partir de la siguiente página y hasta el final del libro.

Con respecto a los apéndices, y en especial al segundo, en los tiempos actuales la imagen y el color han tenido un vigoroso renacimiento, auxiliados principalmente por los medios electrónicos productores de luz y sonido (televisión, computadoras, láser, etc.) y el arte moderno presenta una rica variedad en este terreno, algunas de cuyas manifestaciones las veremos en el capítulo VI, reservado precisamente a este fin.

CAPITULO III

LOS PRIMEROS ESTUDIOS DE MUSICA ELECTROACUSTICA O "ESTUDIOS CLASICOS"

1. Resumen

Los estudios clásicos pertenecen al pasado

Este capítulo debe considerarse mitad histórico, mitad técnico. Digo esto, porque personalmente estoy convencido que esta fase del desarrollo de la música electrónica ya ha sido superada. También a este convencimiento obedece el título, que expresa algo más bien pasado que vigente. Este convencimiento personal va en contra de muchos autores y opiniones serias y pensé mucho antes de plasmarlo en estos escritos.

Ellos consideran que el "laboratorio clásico" es aún una parte activa del presente y es utilizado –siendo este su principal argumento– por muchos compositores conocidos, los que siguen creando por medio de estos elementos y técnicas. A este respecto yo opino:

Aún se usan sus técnicas

a) Muchos compositores siguen utilizando estas técnicas porque no se han familiarizado con los nuevos recursos de los estudios que gravitan sobre los sintetizadores controlados por voltaje o las computadoras, y que por el momento presentan algunas dificultades técnicas para su comprensión y operación, como lo he confirmado por mi propia experiencia. Ante este dilema prefieren, por su completa familiaridad con lo "clásico" (que también es lo más sencillo), seguir el adagio que más vale malo por conocido que bueno por conocer.

b) Algunos pocos recursos del laboratorio clásico pueden ser utilizados con buenos resultados, y en manos de un experto... con magníficos resultados, produciendo valores estéticos innegables aún en nuestros días.

c) No todos los compositores tienen acceso a un laboratorio moderno de música electrónica o a una computadora, con todos los recursos de la tecnología actual y ante la alternativa de "producir a la antigua o no producir", es obvio y natural que se opte por lo primero.

Ahora bien, como un estudiante serio de música electrónica está obligado a conocer estas técnicas y también la historia de cómo y por qué llegamos al presente, incluyo este capítulo, mitad histórico y mitad técnico, donde haremos una breve descripción del equipo inventado y utilizado y seremos un poco más extensos en las técnicas de manejo y edición de la cinta magnética, que fue el fuerte de esta escuela.

El que lo desee podrá usar los recursos expuestos si su caso es el c), y estoy seguro que hallará buenos consejos y técnicas nuevas que no

conocía, para aplicarlas mejorando sus resultados. Si su caso es el a), puede hacer mi opinión a un lado, pero que sepa que el precio será pagado con una inversión mayor de tiempo y esfuerzo para obtener resultados equivalentes... y algunos jamás podrán ser obtenidos "a la antigua".

Y para ambos usuarios, los del caso a) y los del c), les deseo que queden incluidos en el b), y que tengan presente que una obra de arte es más el resultado de la inspiración, la disciplina y el trabajo inteligente, que de la tecnología disponible.

2. Esbozo histórico *(continuación)*

Lo que nosotros llamaremos aquí los "estudios clásicos" de música electrónica, también son conocidos ahora como estudios de cinta magnética, por utilizar este medio para la producción de la composición musical acabada. ¿Cómo y cuándo se originó esta técnica? será precisamente el corto esbozo histórico que hemos reservado para este capítulo y que intencionalmente pasamos por alto en el capítulo histórico, ya que representan técnicas realmente novedosas en toda la historia de la música y que, expuestas aquí como introducción, darán un sentido de continuidad al lector.

Los inicios de una renovación estética en la música

La efervescencia de la electricidad aplicada a la creación musical e instrumentos, no podía detenerse sólo con la aparición del nuevo intrumental, y aunque este consistió en la imitación de lo tradicional, como se vio en el capítulo histórico, se sentía que había elementos para una renovación conceptual y estética de la música y obligadamente dio comienzo.

Pierre Schaeffer, ingeniero de Radio Francia, venía experimentando desde enero de 1948, con los sonidos usados en las comedias radiofónicas y "coleccionaba" los llamados por el mismo "objetos sonoros", con la intención de realizar una obra musical. Se puede leer en su diario

Radio Francia y el primer concierto de ruidos

"El martes 5 de octubre de 1948, el primer ' concierto de ruidos ' había sido difundido, no en una simple cadena de prueba de radiodifusión, sino en la cadena más escuchada: la cadena parisina". Más adelante aclara:

"De hecho, los italianos, con Marinetti, han sido los precursores hace ya 20 años de esto. Pero se trataba de conciertos con ruidos directos, conduciendo como se vio, a un callejón sin salida". De paso, anotamos que en una de las cartas recibidas por Schaeffer, después del concierto, un tal GM escribía: "[...] me pareció escuchar [...] la música que podría ser la del interior del átomo, la música ultrasónica que engendra quizá el movimiento de los planetas [...]" (la relación ultraterrena que nos es ya familiar).

Ahora unos pocos comentarios al respecto:

El concierto de ruidos estaba compuesto por sonidos de ferrocarriles, de cacerolas, de un molinete o ruleta y de instrumentos musicales, entre ellos, un "piano preparado"; tratados a modo de "desnaturalizar" los sonidos por medio de grabaciones en discos y proceso electrónico posterior (en ese año no existía aún la cinta magnética). Este

La grabación era en disco

material era reproducido después a distintas velocidades, obteniéndose varios efectos especiales que eran seleccionados para la música.

Se bautizó como "Música concreta"

Por provenir todos los sonidos de la naturaleza, Schaeffer la bautizó como "Música Concreta" "[...] para marcar bien la dependencia donde nos encontramos, no respecto a abstracciones sonoras preconcebidas, sino a fragmentos sonoros que existen concretamente [...]"

Era música sin instrumentos

Por otro lado, también comprendió desde el principio que era "música enlatada" "[...] no hay instrumentos a tocar en la música concreta, esta es la mayor dificultad [...]", y que su destino se hallaba en la radiodifusión, como el telarmonio de Cahill. Esta inspiración inicial y sincera, más tarde la cambiaría, presentando conciertos al público con un deshumanizado y frío conjunto de altavoces... o música sin músicos.

También aceptaba como precursores a los futuristas italianos con los ruidores de Russolo y Marinetti, pero desafoca el problema confundiendo los hechos, pues ni los ruidos de Russolo eran directos sino altamente elaborados con instrumentos manuales y eléctricos construidos ex-profeso y susceptibles de variar en frecuencia, intensidad, timbre, etc. (al igual que él lo hacía con el tocadiscos), ni fue esta la razón del callejón sin salida. En todo caso, Russolo no contó con la electrónica ni con el mecenas oficial, factores ambos que fueron determinantes con Schaeffer... eso, y sin contar con que 20 años antes se era más precursor y violento en equipo e ideas, que 20 años después, con impresionismo, atonalismo... y demás atenuadores de las reacciones del público.

3. La música concreta en Francia

La música concreta usa sonidos de la naturaleza

Pero el defecto innato de criticar nos sacó del tema y debemos retornar para definir el movimiento bautizado por su autor como música concreta, en los términos siguientes:

a. Utiliza como materia prima los sonidos de la naturaleza, capturados, por así decirlo, por medio de micrófono y llevado en forma permanente (primero al disco y después) a la cinta magnética. Posteriormente, en Radio Francia se formaría una "sonoteca" con sonidos grabados procedentes de máquinas, pasos, vientos, chirridos... para ser utilizados como base para la composición musical.

Equipo para procesar los sonidos

b. Los sonidos son procesados electrónicamente para desnaturalizarlos y se construyeron varios aparatos con este fin, tal fue el "Fonógeno", donde una cinta magnética recibía algún sonido concreto y podía leerlo a 24 velocidades diferentes, dando la posibilidad de formar una escala cromática de 12 semitonos en dos octavas, operándose mediante un teclado a propósito.

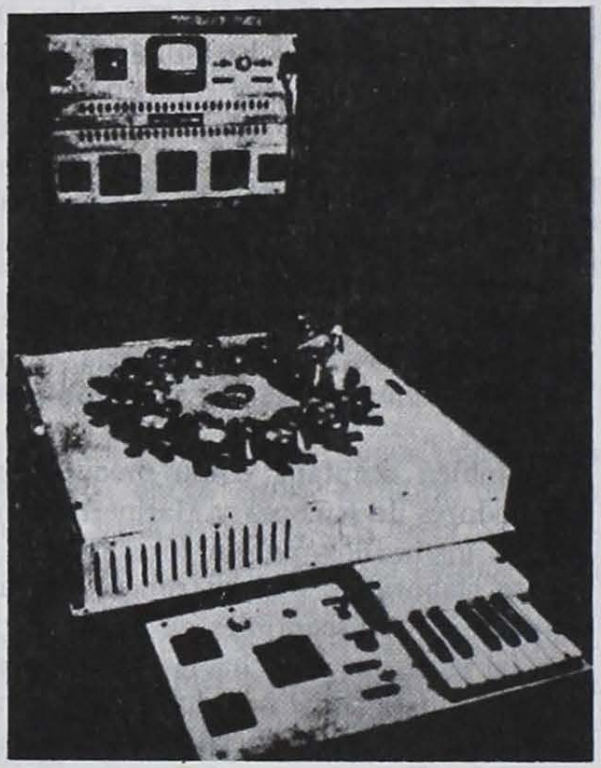


Figura III.1 El Fonógeno, de Radio Francia.

El "Morfofón" era un circuito cerrado de cinta magnética con 10 cabezas de lectura y un sistema de filtros con el cual se podían producir eco, reverberación, cambios tímbricos, etc. Al resultado, grabado en cinta magnética, se le podía aún procesar por corte, yuxtaposición, empalme... lo que ahora se conoce como edición. El resultado final se grababa permanentemente en una cinta magnética, y era la obra terminada.

c. La presentación al público se realizaba mediante esta última cinta magnética (repetimos, que con discos al principio), con el producto final elaborado de a y b. Se usaban varios altavoces colocados delante del público atrás y arriba, y se disponía de la facilidad de dar movimiento al sonido mediante controles a disposición de un ejecutante o director.

Hasta aquí la música concreta, sus técnicas sobre los procesos sonoros las veremos más adelante, pues son interesantes y aún se practican con asiduidad, por lo que el lector las conocerá con cierto detalle.

Calificativo de música electrónica

Por el tiempo que Schaeffer preparaba su concierto de ruidos, en Alemania se aplicaba el calificativo de música electrónica a la producida por los instrumentos nuevos que vimos en la historia (trautonio, theremin, ondas, etc.), y de los cuales el mismo Schaeffer opinaba: "[...] yo desconfío de los instrumentos nuevos [...] yo busco el contacto directo con la materia sonora, sin electrones interpuestos [...]". Pero simultáneamente con los avances electrónicos en instrumentos musicales, se perfeccionaba calladamente un aparato llamado a revolucionar la forma de composición musical hasta esa fecha.

La grabación magnética, invento del danés Poulsen en 1898 y bautizada por él como "Telegráfono", fue patentada usando alambre acerado (cuerdas de piano) como medio magnético, pero pasaron muchos años antes de disponer de ella en forma práctica y comercial, hasta el advenimiento de la cinta magnética del alemán Pfleumer, que junto con otras mejoras electrónicas, durante y después de la Segunda Guerra Mundial, se puso a disposición comercial y accesible.

El magnetófono, invento que revolucionaría a la música

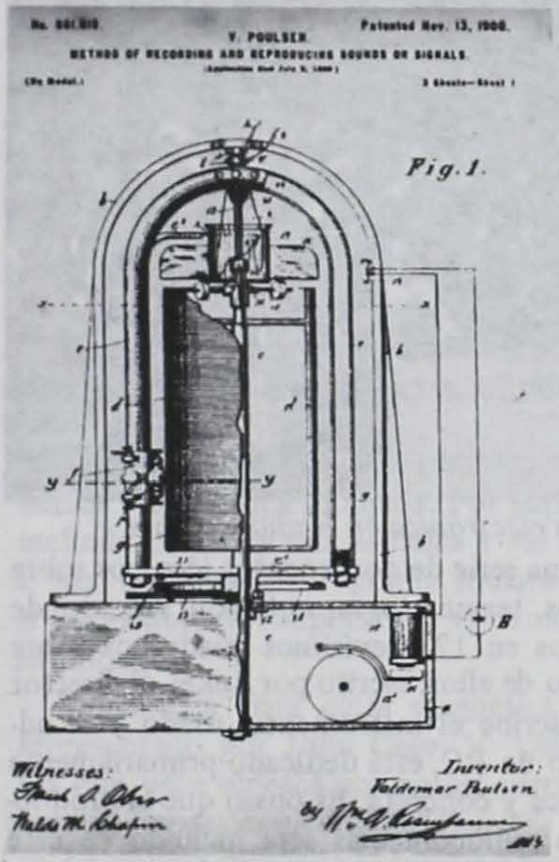


Figura III.2
El Telegráfono, de Poulsen.

4. La música electrónica en Alemania

Por el año 1951, con la comercialización de las primeras grabadoras magnéticas y un "Melocordio", invento de Bode; el físico alemán Meyer-Eppler (técnico, al igual que Schaeffer) presentó una conferencia sobre las "posibilidades de producción sonora por medio de la electrónica", en la que usó ejemplos sonoros, destacándose algunos elementos hasta entonces desconocidos en la música tradicional, como la onda senoide, el ruido blanco y los pulsos electricos.

Radio Colonia y la música electrónica

En octubre 18 de 1951, en Radio Colonia, se transmitió un programa titulado "El mundo sonoro de la música electrónica", el cual era más bien un debate sobre la nueva música, sus recursos y posibilidades. Parece que su impacto fue considerable, pues a partir de ese momento la misma Radio Colonia patrocinaba la composición sugerida por Meyer-Eppler. Estéticamente se declaró su continuidad con el sistema de composición serial de Schönberg-Webern, "como único medio de tratamiento del material sonoro eléctrónico" y sobre esas bases teóricas se instaló el primer laboratorio de música electrónica en Radio Colonia.

Sus principios estéticos

Para el año 1953 Eimert y Beyer producían las primeras obras con sonidos puramente electrónicos, en técnica estrictamente serial y gra-

El primer concierto

bados como producto terminado en cinta magnética. En octubre 9 de 1954, se presentaba el primer concierto titulado "Música de nuestro tiempo", en un pequeño salón de Radio Colonia, con obras de Stockhausen, Pousseur, Eimert y otros, y en un escenario tan deshumanizado como el de la música concreta: varios altavoces en una sala alimentados por una cinta magnética que corre pausadamente.

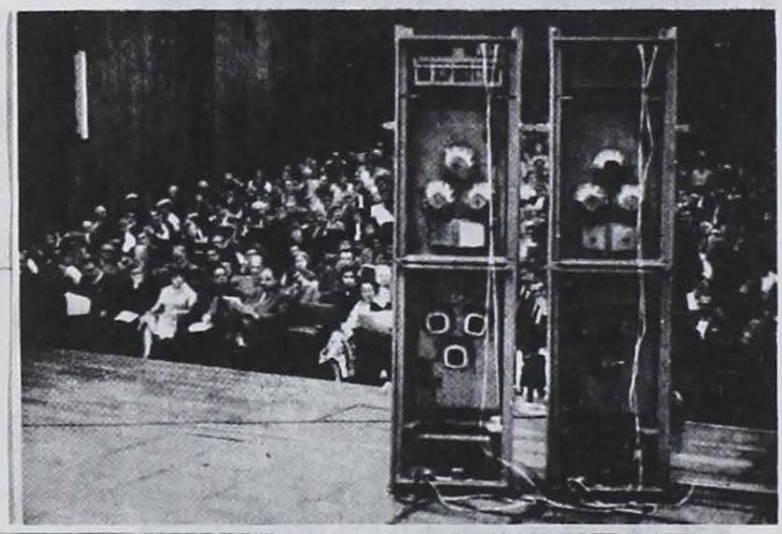


Figura III.3 Concierto de música electrónica en Radio Colonia.

Radio Colonia usó, desde un principio, elementos de la música concreta

En ese mismo año se publicó una serie de documentos técnicos sobre el equipo utilizado, sus facilidades, terminología, notación, etc., donde alternaban músicos con ingenieros en 12 brevísimos cuadernos sobre la música electrónica. En el tercero de ellos, escrito por Enkel, el director técnico de Radio Colonia, se describe el instrumental usado y se advierte que: "el trabajo del estudio de RC, está dedicado primariamente a los campos de música electrónica y concreta. Es obvio que la producción de efectos sonoros para las radiocomedias será incluido en este programa". Es decir, quizá para sorpresa de muchos, que la música electrónica surgía con inclusión de "La producción de efectos acústicos por desnaturalización del fenómeno sonoro (música concreta)". (sic. Enkel) y desde luego, que también "La producción por medios electrónicos, conforme a un plan preconcebido, de sonidos musicales que no pueden ser producidos mecánicamente (música electrónica)".

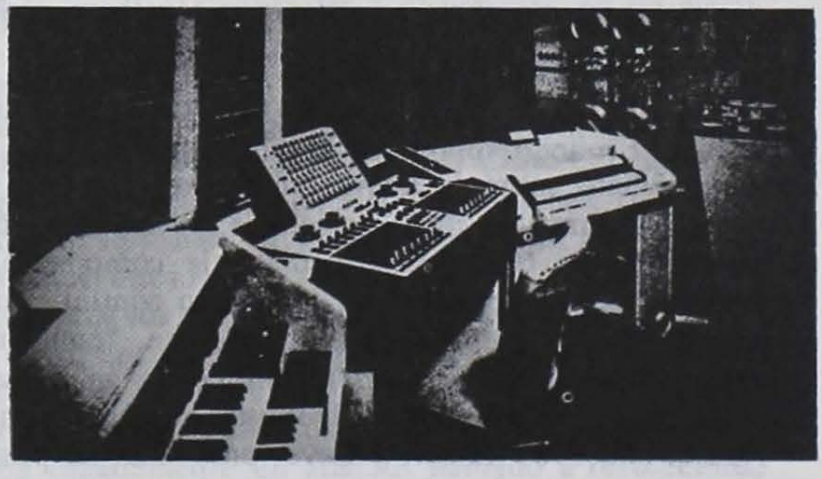


Figura III.4 Un aspecto del estudio de Radio Colonia.

Esto ocurría en 1954, y si se considera por un lado, que a partir de 1955, varias obras de esta escuela incluían sonidos concretos, principalmente la voz desnaturalizada, y si por el otro lado, Radio Francia se "electronizaba" rápidamente con el equipo más moderno y versátil... podemos concluir sin dificultad, que ambas escuelas, con pequeñas diferencias, tenían técnicas de producción similares, y podremos englobarlas sin temor de cometer un grave error y con el ánimo de simplificación en lo que aquí llamaremos el estudio tradicional o clásico de música electrónica y obviaremos el calificativo de "concreto", excepto para una diferenciación específica cuando ésta sea necesaria.

Clasificación de los sistemas de producción musical en 1953

En junio de 1953, Radio Francia presentaba en una convención en París la "Primera década internacional de la música experimental", que incluía una sumarización de los diferentes métodos de utilización de la electrónica y de la grabación magnética en la composición musical. Esta agrupación es importante incluirla para que el estudiante tenga una perspectiva general de aquellos años y de los esfuerzos de técnicos y compositores para usar la electrónica con fines estéticos. La clasificación era así:

a) Música electrónica, b) Música concreta, c) Música para cinta magnética y d) Música dibujada. Por supuesto que la música tradicional era incluida como música acústica y los instrumentos eléctricos que imitan a los tradicionales como música electroacústica. Redondearemos el conocimiento explicando velozmente el c) y el d) no vistos con anterioridad.

Música de cinta

La música para cinta magnética se refería al "grupo americano, representado por John Cage, V. Ussachevsky y Louis y Bebe Barron, los que usan objetos concretos, pero al mismo tiempo admiten instrumentos musicales eléctricos".

Música dibujada

La música dibujada se refería a los trabajos de Mc. Laren, en Canadá, que producía sus sonidos dibujando directamente sobre la pista sonora de las películas; explicamos: El sonido de las películas se graba a un lado de la imagen y mediante dos técnicas diferentes. Una llamada de área variable, donde alternan las áreas negras y transparentes en la forma de una onda modulada en amplitud; la otra llamada de densidad variable, donde la pista cambia solamente las tonalidades de gris, parecida a una onda modulada en frecuencia. En lugar de grabar sonidos en tales pistas, Mc. Laren dibujaba directamente el sonido sobre el film.

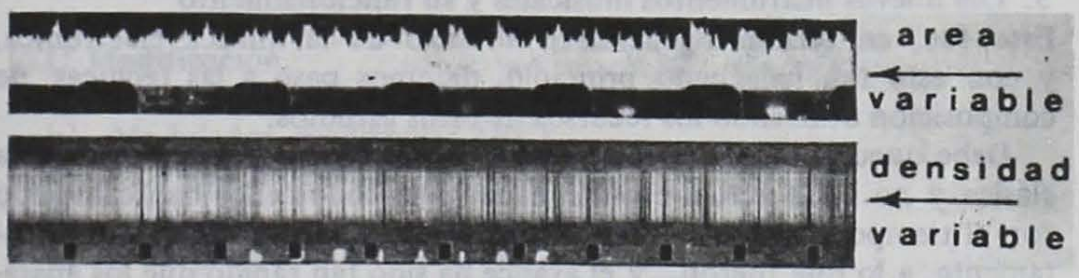


Figura III.5 Sonidos en película, por área variable y por densidad variable.

El grupo americano y los trabajos de Mc. Laren no se incluyen sino en esta corta cita porque sus esfuerzos fueron aislados, sin organización y su aportación, principalmente en las técnicas de manipulación y edición de la cinta magnética, quedan englobadas en las escuelas europeas. El caso de Mc. Laren en Canadá, no ha trascendido ni como escuela ni como técnica de producción y aun el sonido de las películas ya se orienta a la grabación magnética sobre el film, por su simplicidad y ventajas sobre los métodos de intercepción luminosa en la emulsión de la película, mucho más complejos y delicados.

Reacción violenta de la crítica a las nuevas músicas

Para el año de 1955, en la ciudad de Basilea, se hacía una conferencia sobre las músicas electrónica y concreta, con la presentación de obras de ambas escuelas. La crítica, tomada por sorpresa en un principio, ya estaba preparada, y repuesta de su sorpresa inicial se dejó sentir con fuerza: "sólo se hallarán tonterías descaradas ... hablaremos más correctamente sobre la seriedad de los charlatanes ... es quizá el principio de un nuevo mundo, o más bien es que nuestro mundo cultural ya está pereciendo y la música será la esclava de la máquina ... difícilmente puede decirse que ésta tiene algo que ver con la música ... la pobreza de pensamientos musicales fue manifiesta ... " etc. Y no se detuvo allí la reacción, unos años más tarde, la radiodifusora BBC de Londres, institución por lo demás de una gran seriedad, anunció que transmitiría obras del "famoso compositor húngaro Piotr Zak" y los locutores musicales tuvieron palabras de exaltado elogio e invitaron a los radioescuchas a que "oyeran y juzgaran" la calidad de la obra "móvil para cinta y percusión". No podemos ser muy extensos pero el resultado fue que, después de la presentación, los diarios y críticos musicales se inclinaron hacia el elogio de la obra y llovieron telefonemas a la BBC para felicitarla y solicitar al que, en opinión de uno de los entusiastas era el Beethoven contemporáneo. El silencio se prolongaba, hasta que bajo la presión, los encargados de las actividades musicales de la radiodifusora comunicaron que había sido una tomadura de pelo, que Piotr Zak no existía, y que el concierto consistió en una sucesión grabada de sonidos hechos con toda clase de utensilios caseros: sartenes, latas, cacerolas, etc., sin ningún plan preconcebido!! (¿por qué este desconcierto en la crítica y apreciación musicales?).

Burla de la BBC de Londres

5. Los nuevos instrumentos musicales y su funcionamiento

Este fue, en términos generales, el inicio de la música electrónica, y con este tan halagüeño principio, daremos paso a las técnicas de composición utilizando los recursos de estos estudios.

Debe quedar sentado que se verá el equipo en su forma o estructura clásica y no en la actual evolucionada, pues todos ellos han cambiado con el tiempo y ni Radio Francia ni Radio Colonia se parecen ni remótamente, a lo que fueron, y el avance ha sido tan rápido que los aparatos de los precursores (que aquí veremos) lucen ya como piezas de museo y en su lugar están minicomputadoras o sintetizadores analógicos controlados por voltaje. Todo esto es natural y los miles de estudios que han surgido desde entonces no son estáticos en su configuración y

contenido instrumental, pues el ambiente es de intenso desarrollo y mejoras ininterrumpidas.

El instrumental original de Radio Francia y Radio Colonia

Tomaremos el contenido instrumental prototipo de Radio Francia y de Radio Colonia en su versión de 1954, conforme a las publicaciones antes aludidas, y que representan las primicias de una nueva estética y técnicas de composición, y que diera obras que por ahora son ya clásicas en su género.

Daremos enseguida una breve explicación de cada aparato y pondremos algunos ejemplos de operación o producción de los mismos. Si el aparato es muy especializado, sugeriremos la obtención de los mismos resultados con equipo moderno, en caso de ser posible. Englobaremos, como ya se advirtió, los equipos de música concreta y electrónica sin distinción de escuelas y considerados como representativos del estudio clásico, pero anotaremos a quien corresponde (RC: Radio Colonia, RF: Radio Francia).

Clasificación con fines didácticos

Para su mejor comprensión consideramos conveniente agrupar el equipo en 5 aspectos principales de procesos de los sonidos:

A. Generación de sonidos (o captura microfónica, si concretos).
B. Mezcla de dos o más sonidos.
C. Modificación de los sonidos.
D. Grabación sonora y edición de las cintas magnéticas.
E. Reproducción, amplificación y presentación al público.

Esta estructura o "arquitectura" del instrumental del estudio es básicamente válida en los laboratorios más modernos, incluyendo a los sintetizadores y a muchos aspectos de las computadoras, por lo que lo conservaremos en lo sucesivo como esquema general, agregándose en cada caso lo procedente.

Veamos ahora de qué aparatos se disponía para cada aspecto anotado:

A. Generación de sonidos (o captura sonora).
a) Generador de onda senoidal.
b) Generador de pulso.
c) Generador de ruido blanco.
d) Monocordio (RC).
e) Melocordio (RC).
f) Micrófonos de contacto, dinámicos, estáticos (RF).
g) Vibrador (RF).

B. Mezcla.
a) Mezcladores varios.
b) Consolas de mezcla y edición.

C. Modificación.
a) Modulador anular (RC).
b) Modulador cuadripolar (RC).
c) Eco y reverberación.
d) Filtros.
e) Fonógeno cromático (RF).
f) Fonógeno deslizante, o portamento (RF).
g) Morfofón (RF).
h) Cinta magnética de velocidad variable.
i) Distorsionadores de onda (compresores, expansores y limitadores).

D. Grabación y edición.
a) Fonógrafos.
b) Magnetófonos de una pista y multipistas.
E. Reproducción y amplificación.
a) Amplificadores.
b) Micrófonos.
c) Bocinas (o altoparlantes o altavoces).
d) Varios aparatos de presentación al público.

Veamos con más detalle cada uno de ellos:

A. Generación.

Osciladores

Aa y Ab. Para los generadores de onda senoidal y pulso, se empleaban dos tipos de oscilador: el heterodino, donde dos frecuencias ultrasónicas se mezclan y de las cuales se extrae la resta de ellas, que ya se encuentra en el rango audible. Este generador tiene la ventaja de producir todas las frecuencias deseadas en una sola vuelta de la perilla que controla la frecuencia.

El otro tipo de oscilador produce directamente las frecuencias requeridas, pero es necesario un ajuste por medio de dos perillas.

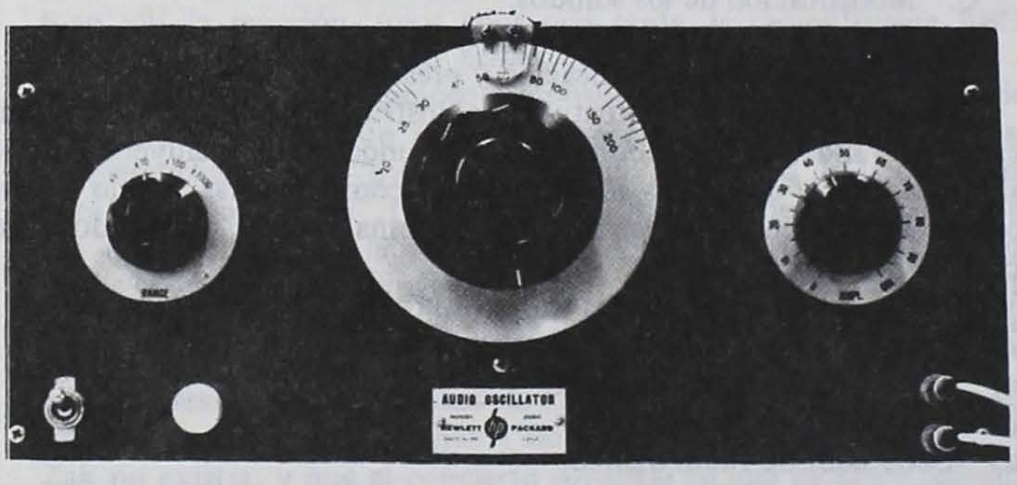


Figura III.6 Un oscilador de audiofrecuencia de los años cincuenta.

En un aparato tipo, una perilla indica los multiplicadores: X1, X10, X100 y X1,000, en tanto que la segunda perilla realiza el ajuste fino y está marcada de 20 a 200. La frecuencia quedará determinada por el número de la segunda multiplicado por el valor del multiplicador de la primera. El problema en estos osciladores es que si deseamos varias frecuencias comprendidas en los diferentes rangos, lo cual es el caso general y no la excepción, se introducen una serie de brincos y una discontinuidad molesta, que además impide totalmente los glissandos en rangos amplios de frecuencias. En compensación, este tipo de oscilador da una magnífica forma de onda y una gran precisión y estabilidad en su frecuencia.

Generador de ruido blanco

Ac. El generador de ruido blanco produce todas las frecuencias audibles en forma simultánea entre 20 hz. y 20 Khz. Estadísticamente, cualquier frecuencia está presente en el ruido en cualquier momento, y teóricamente, con un filtro de paso de banda de suficiente selectivi-

dad (con un paso de banda estrechísimo) se podría extraer una senoide pura de una sola frecuencia. De hecho, este ruido se usa generalmente con filtros para extraer grupos o bandas de frecuencias, obteniéndose entonces "ruido de color", lo cual no es sino un grupo de frecuencias comprendido en el paso de banda del filtro, por ejemplo entre 500 y 1,000 hz. Estos ruidos de color sugieren ya cierta altura y se han usado con profusión en la música electrónica.

Monocordio y Melocordio de Radio Colonia

Ad. Monocordio (RC). Es una variación del trautonio de concierto, hecha especialmente por el mismo Trautwein específicamente para usos electroacústicos. Posee dos generadores monofónicos, con un "filtro formante variable" para lograr una variedad incontable de timbres. Tiene la banda restirada metálica para variación continua de frecuencias o glissandos, pero lleva cinco teclas elásticas sobre cada octava de la banda, como referencia y para la obtención sencilla de las frecuencias deseadas. La banda y teclas podían afinarse a cualquier frecuencia, no necesariamente en la escala temperada. Los generadores producían onda rampa y los filtros se seleccionaban a ambos lados del teclado central, también por medio de teclas. Para el volumen, o intensidad sonora, se usaba un pedal y también un control de volumen dependiente de la presión ejercida sobre el teclado.

Ae. Melocordio (RC). Era también un instrumento a dos voces, actuándose mediante dos teclados de piano (como un órgano de dos teclados). Los transitorios sonoros (ataque, duración y decaimiento) podían ser variados a voluntad. El teclado superior podía conectarse a los filtros y se comportaba entonces como un filtro variable continuamente, susceptible de ser "afinado" en altura conforme a las teclas usadas, de modo que al variar el tono de la fundamental, por ejemplo, la formante del filtro podía variar simultáneamente con ella. Los tonos del melocordio podían modularse con ruido blanco o éste podía pasarse a los filtros, produciendo ruido de color en escalas. Los teclados tenían 37 semitonos o tres octavas, pero podían ser transportados hasta obtener un rango total de 7 octavas. Para completar, tenía controles para envolventes diversas, un generador de vibrato (de 6 a 8 hz.) para conectarse a los dos generadores y finalmente, pedales para el control de volumen. El aparato fue construido por Bode, el mismo diseñador del modulador anular.

El micrófono como convertidor de sonidos en electricidad

Af. Micrófonos. En la música concreta, el micrófono es el convertidor, por así llamarlo, de los sonidos de la naturaleza en oscilaciones eléctricas, y en este aspecto lo consideramos aquí, de hecho, como un generador de sonidos. Los micrófonos de buena calidad más comunes en los laboratorios son los electrodinámicos (o simplemente dinámicos), los de cinta y los de condensador. Los de cristal y carbón, en términos generales, no son usados en la música por su limitada respuesta a las frecuencias.

El vibrador tuvo corta vida

Ag. El vibrador (RF) es propiamente una lengüeta metálica que oscila en forma similar a la caña de los instrumentos tradicionales, como el clarinete. Fue un generador electrodinámico de ondas aproximadas a las cuadradas y con una respuesta limitada a las altas frecuencias. Fue sustituido rápidamente por osciladores electrónicos de ondas

cuadradas, con sus ventajas indiscutibles de onda perfecta y variación controlada y bien definida, que además podía llevarse a onda pulso. Hacia el año 1956 los vibradores no se usaban más.

B. Mezcla.

Consolas de mezcla

Ba y Bb. Para facilitar y concentrar la operación de los diferentes equipos en los estudios de radiodifusión, se dispone de las llamadas "consolas de mezcla y control", donde llegan todas las terminales de entrada y salida del equipo, a modo que el ingeniero de sonido realice las distribuciones, las selecciones necesarias y los ajustes a los niveles más convenientes del material sonoro que se maneja. Radio Francia y Radio Colonia disponían naturalmente, de este tipo de facilidad y se adaptaron con toda naturalidad para facilitar la composición musical. Para cada operación existían monitores o salidas audibles de lo que sucede interiormente, para controlar y verificar la corrección de las operaciones de mezcla y distribución realizadas, y así, el compositor tenía al alcance de la mano todo el instrumental del estudio y podía actuar *in-situ* los aparatos lejanos del estudio por control remoto.

C. Modificación.

Equipo para modificar el sonido

Ca. El modulador anular se usa primariamente para transposición de frecuencias, es decir, para transportar ciertas notas a otras alturas sin perder los intervalos originales. Con este modulador, un sonido rico en armónicas puede ser transformado, por superposición de una onda senoide, en otra oscilación rica en armónicas, pero conteniendo sólo las pares, con supresión de las impares. La utilización más explotada del modulador anular es la imposición de un ritmo sobre cierto material sonoro, ya que sólo existe salida cuando hay señal presente en las dos entradas de que consta. En estos casos, el esquema rítmico es grabado previamente en una cinta sin fin (*tape loop*) en forma de simples pulsos sonoros. Al introducir este ritmo en una entrada y en la otra cierto material sonoro, este último queda forzado a seguir el ritmo.

El modulador anular se usa con profusión

Como el modulador anular entrega a su salida la suma y la resta de las frecuencias de sus entradas, suprimiendo los sonidos originales, es uno de los instrumentos más utilizados en la música electrónica, pues el material que se utiliza en las entradas es de hecho irreconocible en la salida y sin embargo contiene gran riqueza armónica y cierta "familiaridad" con el original.

Cb. El modulador cuadripolar es un modulador especial para mezclar hasta 4 frecuencias de entrada, obteniéndose a la salida, por medio de interruptores varias posibilidades:

–Una transposición de la frecuencia.
–La frecuencia transpuesta y uno de los sonidos.
–Modulación de amplitud en las frecuencias de entrada.
–Esta última modulación y uno de los sonidos.

Eco por magnetófono y cámara especial

Cc. Eco y reverberación. El eco se obtenía, en estos estudios, por medio del magnetófono de cuatro pistas en línea. La señal original se extraía de una pista y se grababa en otra de la misma cinta. La separa-

ción entre las cabezas de lectura y de grabación proporciona un tiempo de retraso al sonido que es equivalente al eco acústico, que se hace presente al tocar simultáneamente todo el material grabado.

La reverberación se obtenía en forma acústica directamente en la "cámara de reverberación", para radiodramas de la radiodifusora. Las cámaras de este tipo son salones recubiertos con material altamente reflejante de las ondas sonoras, en términos generales, un material duro y brillante: mármol, azulejo, cemento pulido, etc. En un extremo se coloca un altoparlante como emisor del sonido que se desea reverberar. En el otro hay un micrófono que recoje la señal original y las reflexiones múltiples producidas en el salón. Esta señal reverberada se regresa a la consola de control y mezcla para su proceso ulterior.

En la actualidad, esta reverberación se realiza con placas, resortes y otros medios, inclusive el magnetófono, por medio de ecos múltiples.

Filtros para timbres y ruidos de color

Cd. Filtros. Las dos aplicaciones más importantes que se dieron a los filtros fueron: 1. La obtención de sonidos conteniendo la fundamental y ciertas armónicas controladas a partir del filtrado de ondas complejas, principalmente de la onda rampa, y 2. La conversión de ruido blanco en ruidos de color. Para ambas aplicaciones se usaron filtros de paso de banda baja, banda alta, pasabanda y rechazo de banda.

En esta categoría quedan incluidos los llamados distorsionadores de onda (RC), que no eran sino los mismos filtros en combinaciones múltiples. Todos estos filtros eran controlados en forma remota y automática por medio de relevadores eléctricos. Su estructura interna se variaba por medios electrónicos para variar la estructura tímbrica de ciertos sonidos en forma dinámica, las más de las veces esto se hacía en forma rítmica, por medio de una cinta sin fin que actuaba sobre los filtros en forma parecida al modulador anular. ¿No representa esto el sueño de Schönberg, cuando hablaba de las melodías tímbricas?

Una forma clásica de proceder era, por ejemplo, conectar 6 filtros de octava, en el rango de 200 a 12,800 hz., con paso de banda de una octava, aplicar entonces el material sonoro y amplificar (hasta 20 db.) o atenuar (hasta 30 db.) las amplitudes de cualquiera de las armónicas o parciales resultantes del filtrado. Realizando esto en forma dinámica, daba como resultado un timbre cambiante a voluntad, sin la impresión que se cambiaba de "instrumento".

El fonógeno formaba una escala de cualquier sonido

Ce y Cf. El fonógeno de Radio Francia, daba la posibilidad de transportar cualquier material sonoro hasta en dos octavas, formando dos escalas cromáticas completas. Esto se realizaba por medio de variaciones en la velocidad de la cinta magnética en que estaba grabado el material sonoro original. De hecho, estaba constituida por 12 carretes con cintas magnéticas sin fin, controlados por 12 teclas correspondientes a una octava de la escala temperada. Cada carrete tenía una velocidad fija, diferente de los otros 11, a modo de dar la nota deseada. La velocidad de todos ellos podía ser, además, cambiada al doble, extendiéndose entonces el rango a las dos octavas anotadas. Las envolventes de las ondas también variaban con la velocidad. Este tipo de fonógeno se llamaba cromático, pero se disponía de otro en el cual las cintas variaban su

velocidad en forma continua y a voluntad, pudiéndose transportar a una altura cualquiera, pero en glissandos perfectos y con un control absoluto. A este fonógeno se le llamaba deslizante (o portamento).

El morfofón era un modificador poderoso de sonidos

Cg. Morfofón (RF). Constaba de una cinta sin fin con 10 cabezas de lectura, cada una de las cuales poseía su amplificador individual con control independiente de la ganancia y de la respuesta en frecuencia, esta última modificable a voluntad por medio de filtros. Las salidas de estos amplificadores eran mezcladas y transferidas como unidad al amplificador principal de salida. Era posible obtener reverberaciones en las formas más elaboradas y timbres muy complejos, con un control completo sobre las envolventes sonoras de cada amplificador en particular.

El magnetófono de velocidad variable comprime, expande, repite, reverbera y da vibrato al sonido

Ch. Cinta magnética de velocidad variable. En esta parte consideramos a la cinta magnética en su capacidad de modificador de sonidos por medio de variaciones en su velocidad, por lo demás usado con profusión en el presente. Más adelante se verá en su aplicación primaria, como grabadora o almacenadora del material sonoro.

Si los sonidos se reproducen a una velocidad diferente de la de su grabación original, el material cambia y puede llegar a ser irreconocible, fundamentalmente por la alteración de las envolventes sonoras. Ya vimos también, que una doble grabación, extrayendo el material de la cabeza de lectura y reinyectándolo en la de grabación, nos dará efectos de eco. Si la velocidad es variada rítmicamente, sobreviene una modulación de frecuencia como resultado y se logran efectos de vibrato. Un recurso ampliamente explotado era la producción de material sonoro repetitivo por medio de cintas sin fin, de longitudes diferentes. La variación de velocidad en los magnetófonos, iba de 9 cm./seg. (3 1/2 pulg./seg.) hasta 120 cm./seg. (47 pulg./seg.), en pequeños pasos. Si la velocidad era incrementada respecto al original, se obtenía una expansión en la frecuencia. Si era disminuida, se obtenía una compresión, pues las frecuencias eran reducidas respecto de su valor original.

Los distorsionadores cambian la forma de onda, introduciendo armónicas

Ci. Distorsionadores de ondas. Ya vimos como, por medios electrónicos, las ondas pueden ser distorsionadas, dando como resultado un contenido armónico diferente del original. En el Cd incluimos un tipo de distorsionador de onda respecto a la frecuencia. En el Ch el resultado es una distorsión en frecuencia y en amplitud.

Una categoría aparte de distorsionadores de onda, lo constiuían una serie de circuitos usados comúnmente en las radiodifusoras con fines varios, y que nombraremos sólo de paso. Los amplificadores limitadores (*clippers*) literalmente rebanan la amplitud de los sonidos que exceden cierto valor, introduciendo naturalmente un contenido armónico distinto del original. Los llamados compresores y expansores de volumen, reducen o amplifican, respectivamente, el material sonoro a límites preestablecidos. Otros distorsionadores, tales como los atenuadores, defasadores, sincronizadores, convertidores, distorsionadores lineales y alineales, quedan incluidos dentro de los circuitos de aparatos más específicos de las radiodifusoras y no se verán por separado.

D. Grabación y edición.

Da. Bien ,conocido. por todos, el fonógrafo o tocadiscos, fue usado

inicialmente por RF para la grabación y reproducción de los sonidos. Eran fonógrafos de alta calidad, más conocidos por tornamesas, pero su uso fue rápidamente desplazado al aparecer los primeros magnetófonos con ventajas indiscutibles y como este aparato no se usa más allá de la reproducción sonora, no lo veremos en detalle.

El fonógrafo fue desplazado con rapidez

Db. Grabadoras magnéticas o magnetófonos. Este aparato es tan importante, y sus técnicas tan variadas, que hem os reservado el apéndice de este capítulo a su descripción y operación con fines de composición musical. Aquí haremos un somero esbozo de los magnetófonos usados en los laboratorios clásicos y sus aplicaciones principales.

Los magnetófonos eran síncronos y multipistas

Los magnetófonos de aquella época usaban cintas magnéticas de 17.5 mm. de ancho (3/4 de pulgada) y llevaban perforaciones a un lado, como la película de cine, para asegurar su perfecta sincronía y evitar deslizamientos indeseables. Los magnetófonos eran de 4 pistas en línea y con control independiente de cada pista por separado, pudiendo vaciarse el contenido de tres pistas en una, por ejemplo, y disponer de las borradas para material nuevo. Esto daba una gran capacidad en la grabación de capas múltiples sonoras y gran cantidad de voces, en juego en una obra musical. Un recurso común era la utilización de la cinta sin fin, tanto para la producción de sonidos repetitivos como para control de algunos procesos (filtraje, volumen, etc.). En estas aplicaciones se usaban cintas hasta de 10 metros, que se insertaban a los magnetófonos con ayuda de poleas y soportes, parecidos a los de los micrófonos, para sostenerlas. Se podían usar tramos mayores por medio de cartuchos que podían alojar hasta 150 metros de cinta.

Una técnica usual en RC, era el grabar continuamente en una cinta sin fin y con la cabeza de borrado desconectada, con lo que se obtenían pasajes sonoros por superposición múltiple del material. Por supuesto que había un borrado parcial que hacía la cabeza de grabación, pero era tomada en cuenta para el producto sonoro final.

Edición directa de la cinta magnética

Cambios más drásticos se lograban por medio de cortes y empalmes de la cinta magnética. El éxito de estos procedimientos, depende de la precisión de los cortes; para disminuir los efectos adversos, normalmente se regrababa a una velocidad mayor, que al traducirse en una longitud mayor de la cinta, atenuaba los errores en el corte. Después de los cortes y ediciones necesarios, se regresaba a la velocidad original, regrabando en una cinta nueva el material terminado. Las técnicas para localizar los puntos de corte, los empalmes, y en fin, para las técnicas de composición, las reservamos para el apéndice de este capítulo.

E. Reproducción y amplificación.

No se verán en detalle los amplificadores

Ea, Eb, Ec y Ed. No entraremos en detalle sobre el equipo utilizado para estos fines, que en los tiempos modernos son de uso corriente, sobre todo que, estando especializados en la música, son ampliamente conocidos por los diletantes. Haremos en su lugar una descripción de cómo se utilizaban los recursos de reproducción y amplificación para la presentación de la música electrónica al público, en las salas de concierto:

Se usaban hasta 18 altavoces o bocinas –en un arreglo "espacial"–, las que estaban conectadas en 4 vías de control diferentes, para dar un

efecto sonoro tridimensional y eran conectadas a 4 pistas del magnetófono. Se disponía de una pista adicional, interconectada a cada pista de los grupos de altavoces anteriores, para simular cambios dinámicos en distancia y volumen introduciendo reverberación, eco y filtrado.

La potencia de los amplificadores era de unos 150 watts (RC), produciendo "un nivel aproximado al de una orquesta sinfónica completa en ff (110 db.)". Un conductor o ejecutante podía controlar (con un magneto especial) la distribución sonora espacial por intermedio de la 5a. pista aludida anteriormente. La ubicación de los altavoces no se limitaba únicamente a los lados, ya que también se colocaban sobre el auditorio y atrás de la sala, dependiendo de las preferencias del compositor.

6. Apéndice: Guía de utilización del magnetófono

A la fecha, el magnetófono es el aparato más importante de un estudio de música electrónica. En un futuro próximo, el sintetizador y la computadora se harán más versátiles y de manejo más simple, y con secuenciadores y programas poderosos, se podrán programar y utilizar directamente en el escenario por el "sintetista", en unión y armonía con los instrumentos de la orquesta tradicional.

A) Descripción y funcionamiento

Electricidad y magnetismo son inseparables

La grabación magnética se basa en el principio de que toda corriente eléctrica al circular por un conductor crea un campo magnético a su alrededor, que varía en la misma forma (que la onda) de la corriente eléctrica. Lo inverso es igualmente válido: si un campo magnético pasa por un conductor, generará una corriente eléctrica con la forma de onda y frecuencia del campo magnético que la produjo.

Si en un anillo de hierro enrollamos una bobina de alambre y hacemos circular una corriente eléctrica por ella, en el hierro se formará una corriente magnética. Si hacemos un delgado corte en el anillo, las líneas de la fuerza magnética saltarán de un lado a otro para conservar el circuito del campo magnético a través del aire del entrehierro (nombre técnico del corte): hemos fabricado una cabeza magnética.

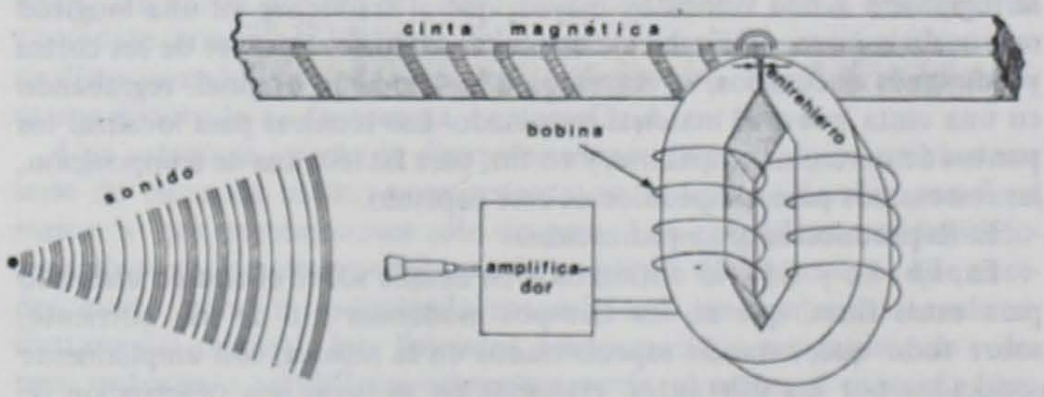


Figura III.7 Esquema de una cabeza magnética.

Las tres cabezas funcionan igual

Las cabezas magnéticas, sean estas de borrado, grabación, lectura o combinadas, tienen la misma estructura y de hecho cualquiera puede hacer las tres cosas: borrar, grabar o leer (una a la vez), pero en la práctica están especializadas en sus funciones, especialmente en lo que

se refiere al tamaño del entrehierro. Su estructura es la de un anillo de láminas de hierro al silicio (material altamente magnético), con un delgadísimo entrehierro, del orden de cienmilésimas de pulgada, más una bobina o enrollado de alambre del lado opuesto al entrehierro. La cinta magnética pasará frotando la cabeza, exactamente sobre el entrehierro.

Las cintas son de plástico, con óxido en una cara

Las cintas magnéticas están hechas de una base de plástico donde se ha depositado, en una de sus caras (la que pasará frotando al entrehierro), un polvo magnético con un aglutinante o adhesivo que lo conservará fijo y en forma permanente en la superficie. Las cintas magnéticas comerciales son de 6.25 mm. (1/4 de pulgada) de ancho y las profesionales más comunes de 12.5 mm. (1/2 pulgada), y más si son multipista, o sea que se graba más de un material independiente en la cinta.

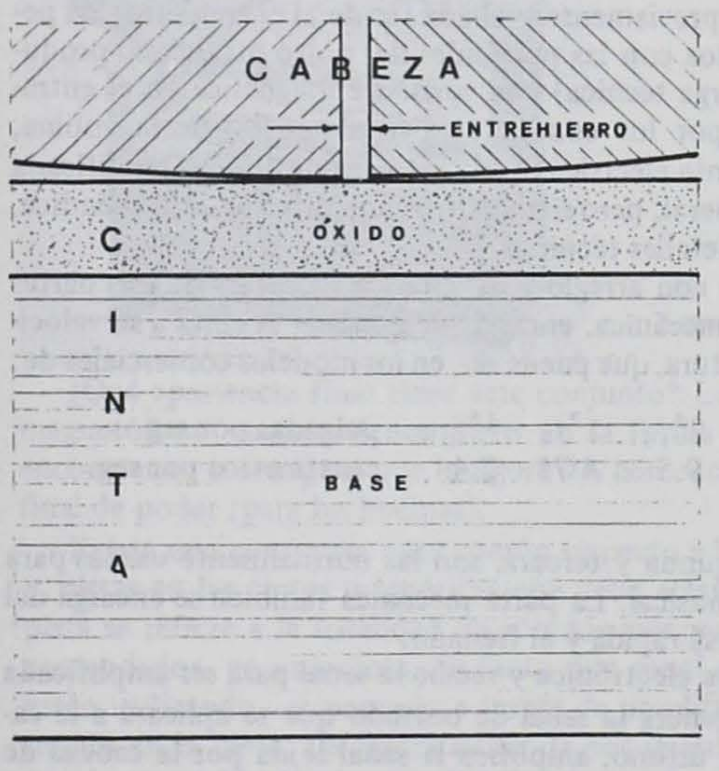


Figura III.8 Perfil de una cinta magnética y una parte de la cabeza mostrando las proporciones de la base (plástico), el óxido que lo recubre y el entrehierro de la cabeza magnética.

Orden de paso de las cabezas

La cinta pasa frotando las cabezas magnéticas (que son tres en los magnetófonos de buena calidad) en el orden siguiente y en el sentido del movimiento de la cinta: primero a la cabeza de borrado, que grabará sobre la cinta una frecuencia ultrasónica (del orden de 100 a 150 Khz.), eliminando así todo rastro de lo grabado anteriormente (si lo había). En segundo lugar viene la cabeza de grabación, que recibe en su bobina la señal eléctrica que se desea grabar y la transfiere en forma magnética a la cinta, arreglando sus partículas magnéticas a modo de formar una "imágen magnética" del sonido recibido. Finalmente, viene la cabeza de

El sonido se convierte en electricidad y ésta en magnetismo, el que

arregla el óxido de la cinta formando minúsculos imanes

lectura o reproducción, que toma esta imágen magnética, la convierte en electricidad en su bobina y la envía a los circuitos de amplificación, pues en todo este proceso estamos hablando de señales de milésimas de volts.

Los procesos previo y posterior a esta secuela nos son ya familiares, por ejemplo: un micrófono capta la señal acústica convirtiéndola en señal eléctrica, ésta se amplifica electrónicamente y es llevada a la cabeza de grabación. El proceso posterior: la electricidad generada en la cabeza de lectura es enviada al amplificador y reproducida finalmente en altavoces a "imágen y semejanza" del original.

La corriente magnética del entrehierro está continuamente cambiando en función de la forma de onda del material recibido, pero como la cinta se está moviendo también en forma continua, estos cambios quedan impresos en ella longitudinalmente, como pequeñísimos imanes permanentes formados en el polvo magnético: esta es la grabación. Procediendo exactamente al revés, obtendremos la reproducción o lectura: al pasar la cinta previamente grabada frente al entrehierro, los pequeños imanes formados con las partículas del polvo magnético producen (inducen, en la jerga técnica) una corriente magnética en el entrehierro, que al pasar por los conductores (o alambres) de la bobina, la convierten en corriente eléctrica. Todo esto es una forma simplificada del principio físico general, pero siendo otro el objetivo de este apéndice, no iré más allá en los detalles técnicos.

Tres partes del magnetófono: 1. Mecánica (velocidades comerciales),

Todo magnetófono con arreglo a lo anterior, constará de tres partes diferentes: una parte mecánica, encargada de mover la cinta a su velocidad de grabación y lectura, que puede ser, en los modelos comerciales de:

30	15	$7^1/_2$	$3^3/_4$	$1^7/_8$	$^{15}/_{16}$	pulgadas por seg.
76	38	19	9.5	4.75	2.4	centímetros por seg.

Las velocidades segunda y tercera, son las normalmente usadas para una buena fidelidad musical. La parte mecánica también se encarga del avance rápido, la reversa rápida y el frenado.

2. Electrónica

La segunda parte es electrónica y recibe la señal para ser amplificada y grabada. También genera la señal de borrado que se aplicará a la cabeza respectiva y por último, amplifica la señal leída por la cabeza de lectura, a partir de una cinta pregrabada.

Debe advertirse que una fracción de la señal de borrado (usualmente), se mezcla con el sonido que se grabará. Esto mejora la fidelidad en la grabación y podía pensarse que equivale a un sacudida violenta de alta frecuencia a las moléculas magnéticas de la cinta, que les permite un mejor acomodo final y por lo consiguiente una calidad superior en la reproducción sonora.

3. Electromagnética

La parte final es electromagnética y es la más simple, pero la fundamental y más importante del magnetófono. La constituyen tres cabezas magnéticas (en los magnetófonos profesionales): una para el borrado, otra para la grabación y finalmente otra para la lectura.

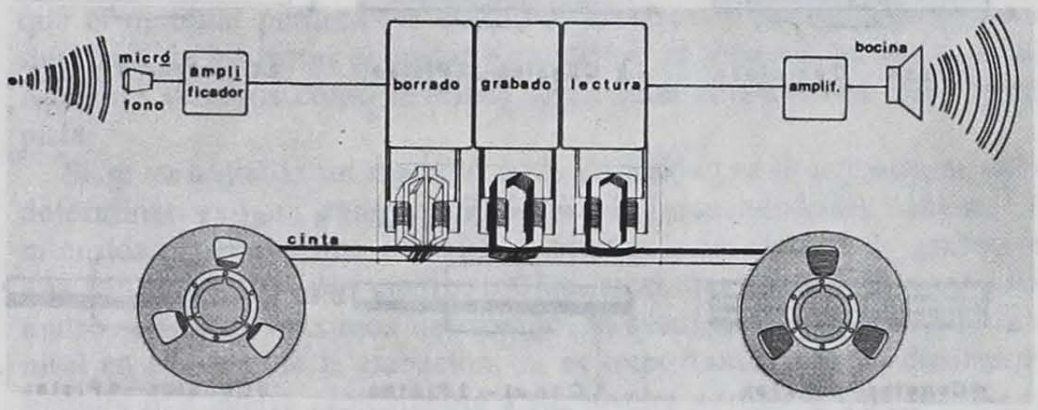


Figura III.9A
Esquema de un magnetófono completo.

Figura III.9B
Un magnetófono comercial japonés (Ampex, hecho por TEAC).

¿Qué apariencia final tiene este conjunto? La figura nos muestra un magnetófono comercial completo en la forma más común que suele encontrarse, o sea igual que la figura 9A con exclusión del amplificador final de poder (para las bocinas).

Pistas y canales

Existe una confusión muy común respecto a la designación de canales y pistas en las cintas magnéticas que debe aclararse en pocas palabras: pista se refiere a la totalidad de sonidos independientes que pueden ser acomodados en una cinta, en tanto que canal es la o las pistas que se están utilizando –y pasando a través de amplificadores– del total contenido en la cinta. La figura siguiente nos muestra las pistas producidas por los entrehierros (canales) indicados como la parte sombreada. En las figuras 3a., 5a. y 6a., sin embargo, las pistas se duplicarán y ocuparán las partes restantes claras de la cinta al voltear los carretes o los casets para obtener doble duración, en ida y vuelta, en las versiones comerciales más comunes.

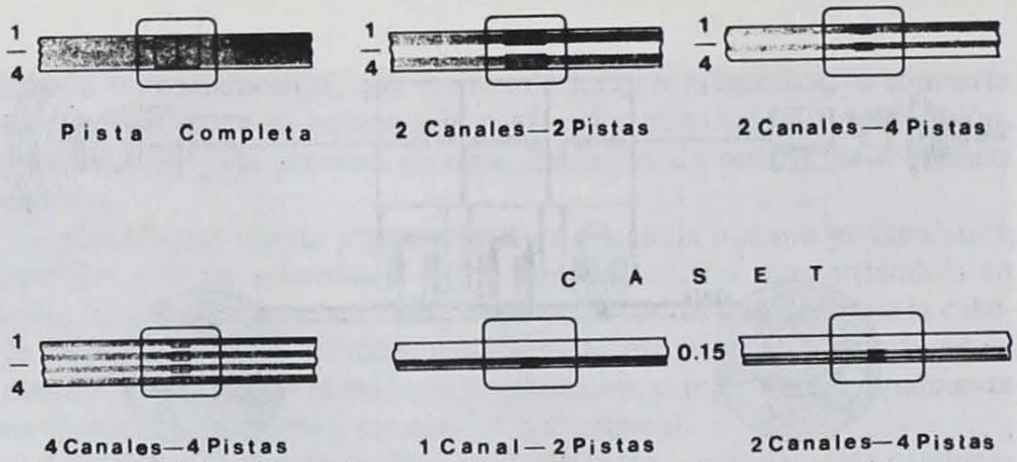


Figura III.10 Configuraciones más comunes de cabezas magnéticas, mostrando los canales y las pistas.

B) Utilización y consejos prácticos

Si los conceptos generales de la estructura y el funcionamiento del magnetófono, han quedado fijados con claridad en el lector, esta parte que es la más interesante y útil, será asimilada con facilidad... y hasta con placer.

Suele decirse que una cadena es tan resistente como su eslabón más débil. Esto es fundamental en un equipo completo de grabación y la calidad final será la de su peor componente, sea el micrófono, el amplificador, la cinta y aún las bocinas... aunque el magnetófono fuese el más fino entre los profesionales. No todos los usuarios de equipo de reproducción musical comprenden bien que es más razonable una estructura modesta pero bien balanceada y de una calidad uniforme, que uno desbalanceado y con elementos disímiles, de diversas respuestas y calidades.

La estructura del equipo debe ser homogenea

Ya en el aspecto específico de la cinta magnética, se debe usar la más fina que exista en el mercado ya que es la fracción más barata del costo total en un estudio y no se conciben economías en este aspecto. Las mejores son las que tienen una relación alta de señal a ruido (high output, low noise). Se deben preferir las que contienen además un lubricante en el óxido (silicón, normalmente) pues reducirá el desgaste de las cabezas.

Debe usarse la cinta más fina

Si va a ser una cinta para composición musical donde se corta, se añade, se pasa decenas de veces, se sacan copias, etc., no utilice cinta de larga duración pues no hay nada más frustrante que una cinta casi terminada que sufre deformaciones, o se enreda o se rompe por su excesiva delgadez... recuerde que en el fragor del trabajo se olvidan la urbanidad y los consejos y la cinta se jala del carrete, se parte, se encima... y sólo las cintas gruesas resisten el maltrato. Además, las cintas muy delgadas tienen la tendencia a mezclar o calcar las grabaciones en ff, entre las capas contiguas al quedar enrolladas en el carrete y almacenadas por largo tiempo, dando la impresión de ecos o de que otro material ha quedado en el fondo sin borrar. Esto es el fin de una obra original que costó largas horas de trabajo y que no es posible rehacer.

Cuando el material sonoro grabado se va a editar posteriormente o se van a realizar montajes y composiciones en la cinta magnética, se debe recordar que esto sólo es posible profesionalmente en una cinta grabada en una sola pista y no es recomendable hacerlo en más de una a menos

Es preferible trabajar en una pista

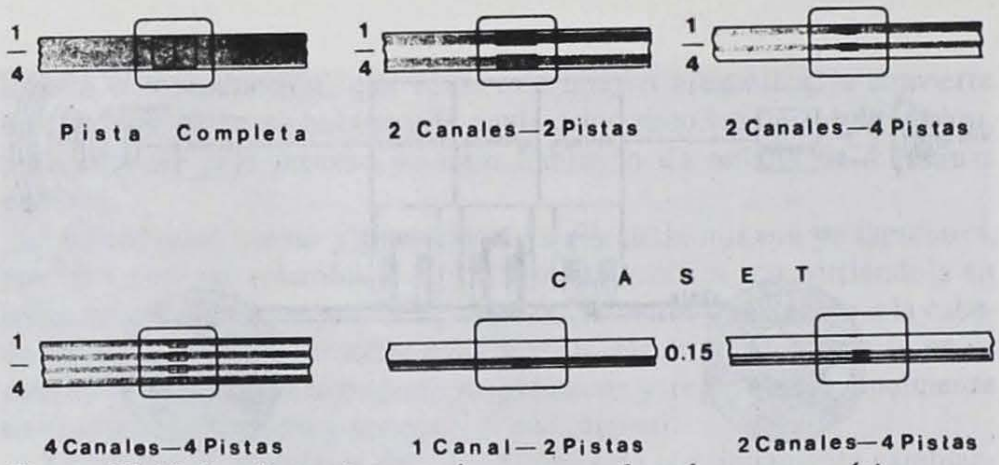


Figura III.10 Configuraciones más comunes de cabezas magnéticas, mostrando los canales y las pistas.

B) Utilización y consejos prácticos

Si los conceptos generales de la estructura y el funcionamiento del magnetófono, han quedado fijados con claridad en el lector, esta parte que es la más interesante y útil, será asimilada con facilidad... y hasta con placer.

Suele decirse que una cadena es tan resistente como su eslabón más débil. Esto es fundamental en un equipo completo de grabación y la calidad final será la de su peor componente, sea el micrófono, el amplificador, la cinta y aún las bocinas... aunque el magnetófono fuese el más fino entre los profesionales. No todos los usuarios de equipo de reproducción musical comprenden bien que es más razonable una estructura modesta pero bien balanceada y de una calidad uniforme, que uno desbalanceado y con elementos disímiles, de diversas respuestas y calidades.

La estructura del equipo debe ser homogenea

Ya en el aspecto específico de la cinta magnética, se debe usar la más fina que exista en el mercado ya que es la fracción más barata del costo total en un estudio y no se conciben economías en este aspecto. Las mejores son las que tienen una relación alta de señal a ruido (high output, low noise). Se deben preferir las que contienen además un lubricante en el óxido (silicón, normalmente) pues reducirá el desgaste de las cabezas.

Debe usarse la cinta más fina

Si va a ser una cinta para composición musical donde se corta, se añade, se pasa decenas de veces, se sacan copias, etc., no utilice cinta de larga duración pues no hay nada más frustrante que una cinta casi terminada que sufre deformaciones, o se enreda o se rompe por su excesiva delgadez... recuerde que en el fragor del trabajo se olvidan la urbanidad y los consejos y la cinta se jala del carrete, se parte, se encima... y sólo las cintas gruesas resisten el maltrato. Además, las cintas muy delgadas tienen la tendencia a mezclar o calcar las grabaciones en ff, entre las capas contiguas al quedar enrolladas en el carrete y almacenadas por largo tiempo, dando la impresión de ecos o de que otro material ha quedado en el fondo sin borrar. Esto es el fin de una obra original que costó largas horas de trabajo y que no es posible rehacer.

Cuando el material sonoro grabado se va a editar posteriormente o se van a realizar montajes y composiciones en la cinta magnética, se debe recordar que esto sólo es posible profesionalmente en una cinta grabada en una sola pista y no es recomendable hacerlo en más de una a menos

Es preferible trabajar en una pista

que el material permita los desajustes inevitables que aparecerán en la sincronía de las pistas al cortar y modificar el material en una de ellas. Adelante veremos como se puede sincronizar el sonido en más de una pista.

Antes de grabar se debe conocer el nivel máximo que ocurrirá en la obra

Si se va a grabar un material cuya intensidad se desconoce, se debe determinar, por un examen rápido previo (escuchándolo), cual será la intensidad máxima que ocurrirá, y ajustar la intensidad de grabación a la lectura de 100 por ciento, o 0 db. en el medidor de VU o modulómetro, en éstos máximos del sonido. Si eventualmente se excede este nivel en el curso de la grabación, ni es importante ni habrá distorsión, siempre que vuelva rápidamente a sus niveles normales. Una vez fijo ya el nivel de grabación no es recomendable moverlo en el curso de la grabación o la dinámica original se verá alterada. En casos imprevistos, o imposibles de reiniciar (una grabación en vivo), o también para un control premeditado en la dinámica de la obra, se deberá hacer con suavidad.

Antes de que la grabación de una obra comience, se debe dejar un tramo de cinta sin grabar, ya que posteriormente al ser reproducida se irá maltratando y en ocasiones rompiendo el extremo inicial y si no hay suficiente tolerancia, se podrá destruir el inicio de la obra.

Las cintas muy trabajadas introducen distorsión

Una cinta que se trabaja mucho, sea en una composición o en pruebas, se va deteriorando, y meterá ruidos en la grabación y aún en la reproducción. La única solución posible es cortar y desechar la parte más trabajada, e ir usando las partes más interiores de la cinta. Se podría invertir la cinta y dejar la parte usada en el interior, pero eso es simplemente esconder la basura bajo la alfombra, y en el futuro podemos olvidar que esa cinta está dañada, pues no es ocularmente notable, y atribuir a otra parte del sistema los ruidos y baja calidad del producto.

No es recomendable arrancar la grabadora y ya en marcha oprimir los botones de grabación, pues se introducirán ruidos (clics). Lo correcto es arrancar directamente en la posición de grabación pues el paso inicial del reposo a la velocidad de régimen equivale a un ataque suave en la envolvente que se forma en el arranque y evita el ruido.

Una vez en el curso de la grabación no se deben mover los controles (otros del nivel de grabación, si esto es permisible), pues entrarán ruidos, no fuertes, pero notables.

Se deben desmontar las cintas del magnetófono si no se van a usar por algún tiempo

No se debe dejar una cinta montada sobre el magnetófono por largo tiempo cuando no se use, el polvo es el peor abrasivo de las cabezas. Se debe almacenar en un lugar fresco y seco (¿datos técnicos?: más o menos 20°C y de 40 a 60 por ciento de humedad relativa). Una temperatura elevada aumenta el efecto de calcado entre las espiras contiguas. Si la cinta se va a guardar durante mucho tiempo, se recomienda enrollarla con el principio en la parte interior del carrete, y con enrollado en reproducción (no el enrollado rápido). Esto reducirá la calca entre espiras y protegerá las orillas de la cinta; además, como al comenzar a usar una cinta por largo tiempo almacenada se debe reenrrollar antes de reproducirla, quedan resueltos ambos problemas. En el almacenaje hay que tener mucho cuidado con los campos magnéticos, como las bocinas, micrófonos o aparatos en funcionamiento, que podrían borrar partes del material.

La borradora de bulto es superior al magnetófono

Si se van a borrar totalmente las cintas, esto debe hacerse con un borrador de bulto (*bulk eraser*), que las llevará a un nivel similar al de las nuevas. Este borrado es superior al de pasar la cinta completamente por la grabadora con el grabado activado y sin entrada sonora, pues existe el riesgo que las cabezas no coincidan y quede una traza del material anterior que se oirá después como sonido muy atenuado o interferencia indeseable. También es más rápido, pues en unos 10 segundos queda la cinta completamente silenciosa.

Hasta aquí los consejos sobre la cinta. El añadido lo veremos adelante, pues es una especialidad.

Lo más importante del mantenimiento es la limpieza periódica

Respecto al equipo de grabación, es necesario proporcionar un mantenimiento periódico conforme a la intensidad y frecuencia de uso del mismo. Normalmente el fabricante proporciona los consejos y periodicidad para el mantenimiento, pero lo acostumbrado es la limpieza periódica de las cabezas, de las poleas y el cabrestante (el impulsor de la cinta en grabación y lectura), con un algodón enrollado en la punta de un palillo, humedecido con alcohol y sin que se sature y bañe los mecanismos del magnetófono, ya que polvo y mugre acumulados degradan el comportamiento de la máquina, dañando sus componentes o formando depósitos abrasivos que causan lo que se llama pérdidas por espaciado entre la cinta y la cabeza, al incrustarse una partícula de polvo entre ellas, y aumentar la separación que comúnmente es de unos 20 millonésimos de pulgada.

La máquina puede ser limpiada con la frecuencia que se desee, pero la recomendación es que se haga al menos una vez por cada 10 o 12 horas de trabajo efectivo.

Las cabezas magnetizadas, distorsionan el sonido

También periódicamente se deberán desmagnetizar las cabezas y mecanismos adyacentes, que adquieren con el uso un magnetismo permanente que aumenta de 5 a 10 db. el nivel de ruido, distorsiona los sonidos y borra las altas frecuencias en las cintas que pasan por ellas (cabezas, poleas y partes metálicas, que también adquieren esta magnetización). El desmagnetizador no se debe acercar demasiado a las cabezas pues se corre el riesgo de rayarlas; tampoco se debe acercar a los medidores que trabajan con imán permanente pues se desmagnetizarán y dejarán de funcionar. El magnetófono deberá estar apagado durante esta operación pues el desmagnetizador induce una fuerte señal en el entrehierro de las cabezas y las agujas de los medidores golpearán intensamente contra el máximo, con posibilidad de dañarse.

No conviene trabajar en el aparato apenas conectado y se debe esperar algunos minutos antes de hacerlo para lograr su funcionamiento normal o de régimen. Haga varios ensayos antes de proceder a una grabación definitiva para determinar los mejores niveles de los controles y lograr con ello los resultados óptimos dentro de la calidad del equipo. Decídase previamente la configuración de la grabación: monaural, estéreo, una, dos o cuatro pistas, etc., conforme el diagrama siguiente y las posibilidades del magnetófono.

Configurar la cinta y anotar en ella los datos

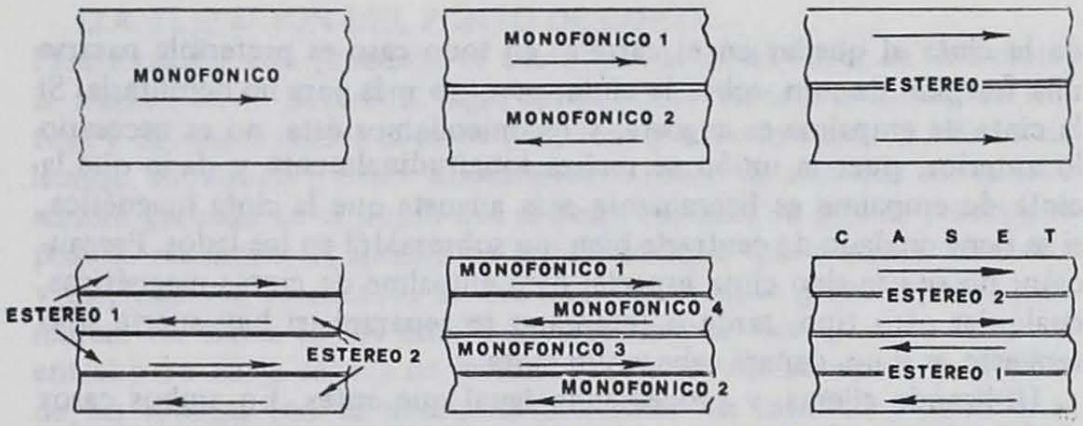


Figura III.11 Configuraciones de pistas grabadas en la cinta.

Una vez realizada la grabación, anote el material y la configuración, preferiblemente en el carrete (las cajas se pierden y cambian y el original queda sin anotación). Por ejemplo: Obra X, velocidad 7.5 pulg./seg., estéreo, dos canales, cinta 4 pistas. Esta sencilla anotación evitará problemas futuros, que pueden ser realmente complejos, conviene estudiar además la figura III.10. Respecto a la lubricación, sólo podemos recomendar el seguir las instrucciones del fabricante, pues los mecanismos son tan variados como para impedir una generalización. Una recomendación sí viene al caso: la excesiva lubricación hará más daño que la escasa, pues esparcirá el aceite en partes no indicadas, causando problemas en ocasiones irreparables (los hules y algunos plásticos se dañarán más allá de cualquier reparación).

Finalmente, presentaremos algunas técnicas de operación y composición en el magnetófono, derivadas de la experiencia acumulada durante estos años, de compositores y técnicos especializados, así como de la mía personal. Lo dividiremos por temas para su fácil localización en caso de consulta.

CORTE Y AÑADIDO DE CINTAS.

Hay varias técnicas para realizar esto. Conforme a la preferencia personal, se elegirá alguna de ellas:

Corte con navaja

La más sencilla es mediante una navaja de afeitar con buen filo, se empalman los dos tramos a unir uno sobre otro, en perfecta coincidencia de las orillas y se hace un corte como a 45° aproximadamente sobre una superficie que no se dañe con el corte, ni sea tan dura que desafile la navaja. La precisión no es importante y aún haciéndolo irregular, siempre que se corte a ambas, coincidirán perfectamente al empalmarse. La razón del corte diagonal es para evitar la transición abrupta del corte frente a la cabeza, que produciría un ruido. Enseguida se hacen a un lado las partes sobrantes de la cinta y se unen ambos extremos, pegándolos con un pedazo de cinta de empalmar y teniendo cuidado de no dejar abertura o separación entre ellas, ni tampoco empalmarlas traslapadas. Para fijar bien la unión se pasará la uña firmemente sobre la añadidura. En el caso de haber usado cinta de empalmar ancha (de 1/2 pulgada o más), la unión se realizará transversalmente y habrá que recortar los extremos al filo de la cinta, sin dejar salientes que seguramente se adherirán al enrollado contiguo

de la cinta al quedar en el carrete; en todo caso es preferible pasarse una fracción de mm. sobre la cinta, pero no más para no debilitarla. Si la cinta de empalme es angosta, y recomendamos ésta, no es necesario lo anterior, pues la unión se realiza longitudinalmente y dado que la cinta de empalme es ligeramente más angosta que la cinta magnética, si se tiene cuidado de centrarla bien, no sobresaldrá en los lados. Precaución: no se use sino cinta especial para empalme de cintas magnéticas, cualquier otro tipo, tarde o temprano se separará, si hay suerte sólo será esto, y si no, dañará cabeza y/o cinta.

Corte con tijeras

Utilizando tijeras, y procediendo igual que antes. En ambos casos se deberá tener la certeza que navaja o tijeras no están magnetizadas o un ruido aparecerá al corte. Es buena precaución desmagnetizar las herramientas al momento de desmagnetizar las cabezas del magnetófono.

Corte con bloque de empalme

Con un bloque de empalmar (*splicing block*). En este bloque, que puede ser de plástico o aluminio, las dos cintas entran ajustadas y se resuelve la coincidencia manual. Por otro lado el corte es dirigido por dos ranuras y también se recomienda el corte diagonal, por las razones expuestas y también porque en el caso de una pequeña separación con el tiempo no aparecerá ruido al entrar y salir suavemente el empalme de la cabeza de lectura y consecuentemente el sonido grabado en la cinta.

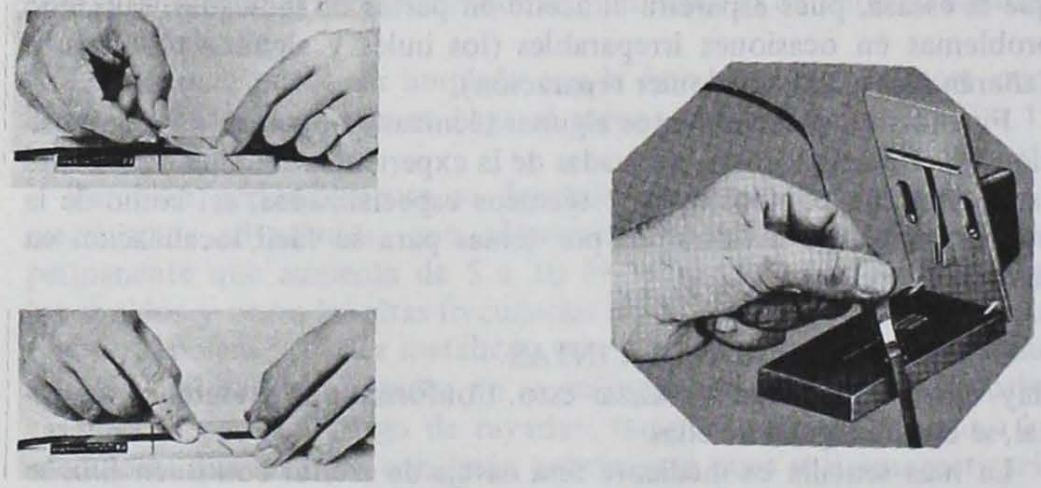


Figura III.12 Empalme de cinta por bloque y con aparato.

Corte con máquina

Con un aparato de empalmar. Esta es la forma más simple de empalmar (si tiene el aparato). Se colocan las dos cintas en posición y se bajan los soportes que las tendrán firmemente en su lugar. Se baja el cortador transversal y con una ligera presión, las cintas quedan seccionadas. Se levanta el cortador, se retiran los pedazos sobrantes, se adelanta la cinta de añadir, se pegan los extremos, se mueve la cabeza a la posición de corte lateral, se vuelve a bajar, se presiona y los extremos de la cinta quedan recortados, ya que estos aparatos usan cinta de corte transversal; hay otros tipos (el de la figura) que sólo cortan y traen cinta adhesiva precortada; así, se corta, se levanta la cabeza, se retiran los pedazos y se añade con la cinta precortada.

LOCALIZACION DEL PUNTO DE CORTE.

Como hallar el punto sonoro donde se desea cortar

Para localizar con precisión el corte que se desea hacer en una cinta, la técnica es de llevarla al lugar aproximado frente a la cabeza de lectura y entonces mover la cinta a un lado y otro frotando la cabeza de lectura, moviendo a mano los carretes, a modo de escuchar el material sonoro grabado en el punto que se desea cortar. Con algo de práctica es posible reconocer el sonido en el preciso lugar que se desea seccionar y así, una vez localizado, se marcará con el lápiz graso especial para marcar en cintas (o los empleados para marcar vidrio), justo frente al entrehierro de la cabeza de lectura. Se extrae cuidadosamente la cinta de las cabezas (no es necesario desmontar los carretes) y se lleva al lugar de corte y añadido normalmente se previene este lugar inmediatamente bajo el área de las cabezas de la grabadora y se permite holgura suficiente para trabajar con amplitud. Ya hecha la unión, se regresa a su posición y se verifica la corrección del corte.

BORRADO PARCIAL.

Diversas formas de borrado en la cinta

Si se desea intercalar un silencio o borrar una fracción del material, esto puede realizarse de varias maneras (los lápices magnéticos borran, pero dejan ruido al principio y final del borrado y además pueden magnetizar las partes metálicas).

Si la longitud no es muy pequeña, se localizan y marcan los extremos del borrado, esta vez frente al entrehierro de la cabeza de borrado (no la de lectura), como se vio en el punto anterior, y se procede al borrado normal con el magnetófono, con el dedo lo más próximo a la palanca o botón de parada. Al llegar la marca del fin del borrado, se detiene la máquina. Se llega a tener buena práctica y el borrado se hace con una gran precisión, pero conviene ensayar antes de hacerlo con material muy valioso. Hay que tener cuidado en que los controles del nivel de grabación estén en cero y que no haya material sonoro en la entrada de grabación. En algunos aparatos es posible sostener apretados el botón de grabación y el de parada, a modo de tener activado el borrado y llevar suavemente a la cinta de un extremo a otro del borrado previsto, lográndose así un borrado con pleno control y precisión. En otros aparatos es posible pasar la cinta por la parte de afuera del cabrestante (*capstan*) y moverla a mano, apoyada sobre la cabeza de borrado entre los extremos previstos. El magnetófono del lector podrá darle ideas sobre la mejor forma de hacerlo sobre estas bases.

Otra forma de realizar esto (seguimos en el caso de que la longitud no sea pequeña) es por medio del corte de la cinta e inserción de un tramo de cinta silenciosa, marcando principio y fin e insertando allí por corte y unión.

Silencios por cinta guía o separación de obras para su localización inmediata

Cuando el silencio corresponde a un cambio de material o de obra, es recomendable separarlas con cinta guía de color claro, para su localización exterior rápida y también para la parada automática en los magnetófonos que tienen fotocelda para detenerse por transparencia de la cinta (o ausencia de ella). La cinta guía es una cinta de plástico sin óxido y de colores en general claros (blanca, amarilla, rosa) y

traslúcidos. Tiene exactamente el mismo ancho de la cinta normal y por su color da una indicación inmediata de la separación, pudiendo verse de un golpe de vista el número de obras en una cinta y su ubicación dentro de ella. También se recomienda ponerla al principio de una cinta, sobre todo si se va a manipular frecuentemente y está grabada desde el inicio del óxido. Las añadiduras de estos casos se suelen hacer en ángulo recto con la cinta y no en diagonal, pues no habiendo material sonoro no hay riesgo de ruidos y esta añadidura es más sencilla que la diagonal.

Algunos "cintólogos" aconsejan raspar el material magnético, u óxido, con una navaja (no muy filosa para no rebanar la cinta) para la intercalación de los silencios, o bien, remover el óxido con un algodón con acetona, sobre todo en silencios cortos y teniendo cuidado de limpiar perfectamente el área raspada o removida, pues un poco de óxido suelto o adherido significará pronto un ruido en el material. Yo personalmente, no aconsejo este sistema, las cintas no sueltan fácilmente el óxido, ni con acetona, ni con navaja y el trabajo resulta siempre defectuoso y se hace una gran porquería alrededor. Lo consigno, pues quizá funcione en una cinta muy vieja que no se quiera cortar, pero aconsejo probar previamente en un tramo sin valor.

ELABORACION DE UNA CINTA SIN FIN.

Cintas sin fin de varias longitudes

En la cinta que contiene el material repetitivo que se desea volver sin fin, o bien en una cinta nueva sobre la que se grabará el material, se une el final con el principio, en diagonal. La longitud mínima será la que pueda dar una vuelta simple al magnetófono, pasándola por las cabezas y el cabrestante y sosteniéndola en posición por medio de una pequeña tensión, suficiente para su libre viaje. La longitud máxima será la del estudio o del espacio atrás de las grabadoras. La tensión se puede dar con cualquier objeto de superficie tersa y lo suficientemente pesado para que se tenga en el lugar escogido: las bases de los micrófonos de mesa o de piso, normalmente en abundancia en los estudios, son excelentes, y si se les adaptan pequeñas poleas, la marcha es mejor y la longitud puede ser muy grande, pues el peso de la cinta es insignificante y con una ligera tensión, mantiene su posición sin problemas. Si se desea una longitud aún más grande, es posible adaptar un cartucho sin fin (del llamado 8 pistas autoestéreo), abriéndolo y cortando la longitud al tamaño deseado, y sacando una cantidad suficiente para dar la vuelta al magnetófono. El cartucho se tendrá firmemente en su lugar con un peso encima o una adaptación para atornillarlo.

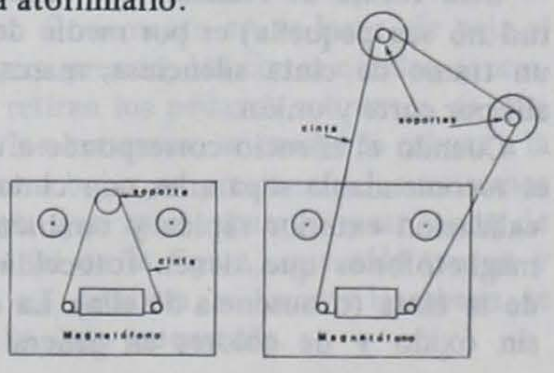


Figura III.13
Formación de una cinta sin fin.

REDUCCION DE VOLUMEN Y SONIDOS CON SORDINA.

Al invertir la cinta, el sonido se oye atenuado

Esto se logra invirtiendo la cinta magnética, es decir, con el óxido hacia afuera de las cabezas. Al alejarse, aun esta insignificante distancia, el volumen se reducirá inmediatamente, y habrá pérdida a las altas frecuencias, dando como resultado una sonoridad "con sordina". Debe anotarse que si la cinta es estéreo, la pista número 1 pasa a ser la 2 y viceversa, pero las envolventes se conservan iguales.

INVERSION SONORA.

Al invertirse la cinta se invierten las componentes de la envolvente

Ya vimos antes que la inversión o supresión de la envolvente hace irreconocibles a los sonidos instrumentales. Si se usa la cinta magnética y se realizan cortes y empalmes, es posible lograr muchos efectos especiales, recurriendo a la lectura inversa del material sonoro, es decir, a leer la cinta en sentido inverso. El resultado en la mayoría de los casos, es que los sonidos se inician suavemente (como órgano), aumentan su volumen y cesan repentinamente. Si se emplean fragmentos de cinta al derecho y al revés, los efectos interesantes y extraños aumentan considerablemente.

ECO Y REVERBERACION.

La separación entre las cabezas de grabación y la lectura, introduce eco

Ya vimos que el recurso del eco mediante cintas magnéticas, fue usado desde el principio en los laboratorios clásicos de música electrónica. Las conexiones para lograrlo son sencillas: la salida de la cabeza de lectura se conecta a la entrada de la cabeza de grabación, en esta forma, lo que se está grabando es lo mismo que se acaba de extraer de la cinta, pero una fracción de segundo después de leído. En la cinta se tendrán, finalmente, ambos materiales, y al ser leídos simultáneamente, se escucharán el original y su eco. La intensidad del sonido a la salida de la cabeza de lectura puede variarse a voluntad, pero es crítica y su balance agradable depende del material... y del compositor. Las conexiones deben quedar de modo que se lea de la cabeza de lectura y se grabe en la de grabación, ambas simultáneamente. Si se desea reverberación se repite el proceso para el eco varias veces, pero en este caso se requerirá tener multipistas, o bien se trabajará en una sola pista, como en el caso B por realimentación continua. El caso A, presentado en las figuras, es un eco simple: la salida de la cabeza de lectura se lleva a la de grabación como vimos antes. El tiempo de retraso de la señal es fijo en este caso y depende de la velocidad de la cinta y de la distancia entre la cabeza de lectura y la de grabación. Queda entendido que este efecto sólo es posible en magnetófonos de dos canales pues la realimentación se hace con cambio de canal, y el efecto se logra leyendo ambos al final (en las cabezas del dibujo se indica que tienen dos salidas cada una). El caso B es una variación del A anterior, y las conexiones son similares, pero se hacen a través de un mezclador, con el que es posible regular el nivel de las señales y lograr un balance más controlado del efecto deseado. Por supuesto, que si una de las entradas se lleva a cero, el eco dejará de existir, y por el otro lado, si se amplifica la señal recibida de la cabeza de lectura, las repeticiones y su amplitud irán incrementándose hasta un punto donde el amplificador y la grabación se sobrecargan y el efecto es ruidoso y sin valor estético. En este caso un canal basta y se logra reverberación controlada a voluntad.

Varias formas de obtención de eco

El caso presentado en C requiere de dos magnetófonos de dos canales cada uno de ellos. Las conexiones son similares a las de los casos anteriores, pero el hecho de alimentar la cinta entre dos grabadoras, da la posibilidad de variar el tiempo del eco a voluntad, dependiendo de la distancia a la que se coloquen una de la otra. Este arreglo permite la composición en canon del material musical y una serie de efectos notables, bastante explotados por lo demás, en la música electrónica. Es obvio que el arranque y parada tienen que ser simultáneos en ambos aparatos, y también que el material está pregrabado en la pista izquierda, por lo que se deberá activar sólo la cabeza de grabación y borrado del canal derecho. El sonido final, como en A, quedará en dos pistas.

El caso presentado en D es la variación del C pero utilizando de nuevo un mezclador. Un examen cuidadoso de la figura permitirá al estudiante imaginar los resultados posibles en este último tipo de conexión presentado. Sobre estos dos sistemas de conexiones básicos se pueden construir variaciones múltiples y muchos autores las presentan in-extenso. Para nosotros, basta con estos tipos que son los básicos y proporcionan todos los resultados que puedan imaginarse, y dan las bases al lector para diseñar las posibles variaciones.

En algunos magnetófonos modernos se obtiene el eco directamente

En algunos equipos comerciales han comenzado a aparecer posibilidades de eco y reverberación con la instalación de más de una cabeza de lectura y en ocasiones con cabezas móviles para variar el tiempo de reverberación.

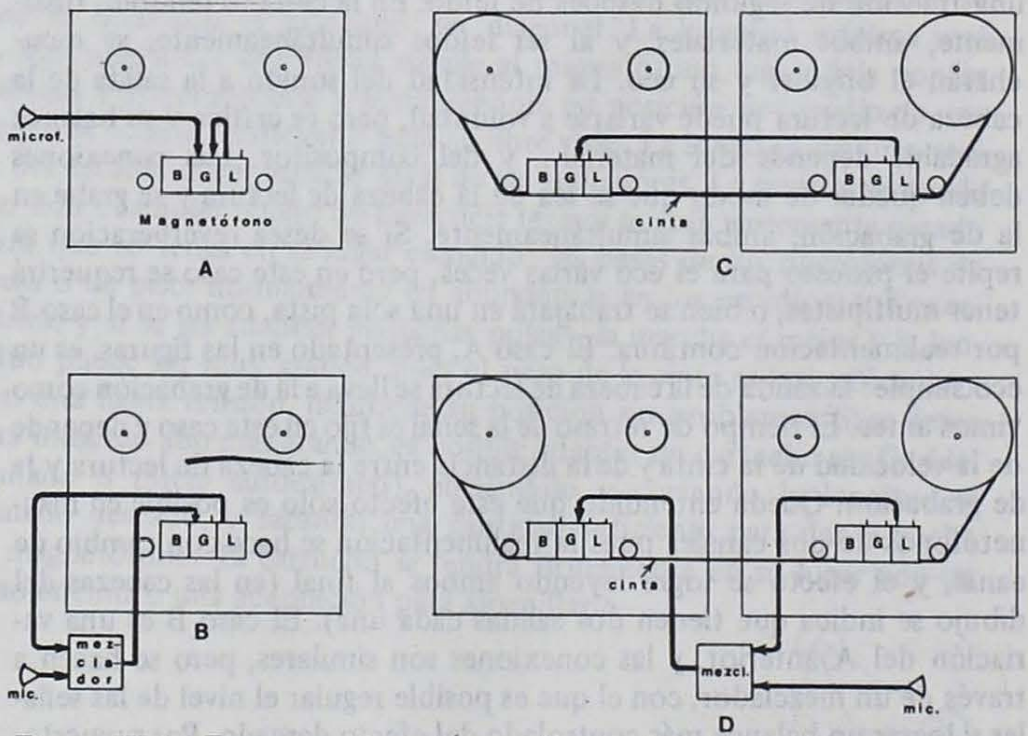


Figura III.14 Eco y reverberación mediante cinta magnética.

DISTRIBUCION SONORA ESPACIAL.

Radio Francia usaba 4 pistas de su magnetófono de 5 para reproducir el sonido de sus conciertos: arriba, al frente, a la derecha y a la izquierda. La 5a. pista se utilizaba para control espacial del sonido. De hecho,

Movimiento sonoro espacial

el sonido se puede "mover" en el espacio con un mínimo de dos pistas y con un juego estudiado de intensidades sonoras entre ellas. Si un mismo volumen se envía a dos altavoces, el sonido parecerá provenir del centro de ellos, pero si esta proporción es alterada, parecerá desplazarse del centro hacia el altavoz del sonido más intenso. Si se altera dinámicamente, parecerá que la fuente sonora se mueve en el espacio. Si se dispone de una grabadora multipista, el efecto puede ser impresionante y es un recurso acostumbrado en algunos conciertos de música electrónica.

PROCESOS VARIOS.

Supresión del borrado

Sonidos encimados (*sound over sound*). En este caso, la cabeza de borrado se desconecta (en la mayoría de los magnetófonos es una operación sencilla) a modo de grabar un sonido sobre otro sin posibilidad de borrar el primero. Debe advertirse que una fracción del material primero es borrado al grabarse el nuevo encima y se va haciendo más notable si se realizan grabaciones múltiples.

Cambio de pista con otro material agregado

Sonidos múltiples (*sound on sound*). Para este efecto se requiere una grabadora con un mínimo de dos pistas. Se procede grabando cierto material en la primera pista. Después se oye esta pista y se graba en la segunda pista el primer material más un nuevo material concordante con el primero. El resultado será que en la segunda pista tendremos: el primer material+el eco del primer material+el segundo material. Desde luego que es posible seguir adelante en esta secuela o sea, que el material resultante de la segunda pista, se puede regresar a la primera grabando un tercer material y así sucesivamente, lográndose densidades sonoras de tipo orquestal, si se hace adecuadamente.

Una variante del anterior es grabar una pista, después oír este material y grabar en la segunda pista, pero sin la inclusión del primer material (*sound with sound*) o sonido doble, éste también es variante del caso del eco, que vimos anteriormente, ya que el primer material y el segundo están separados en tiempo, por la diferente posición de la cabeza de lectura y la de grabación. Si se requiere sincronía perfecta entre ambos materiales, se deben desconectar las terminales de una pista de la cabeza de grabación y pasarla a los circuitos de la cabeza de lectura, es decir, la cabeza de grabación funciona como de lectura y se oirá el material sonoro que está pasando frente a ella. Como el nuevo material que se desea grabar lo hará en la misma cabeza, pero en otra pista, la sincronía será perfecta, sin existir el retraso inevitable cuando se trabaja leyendo en la de lectura y grabando en la de grabación.

Dada la gran variación entre magnetófonos y sus circuitos, se recomienda ensayar previamente esta posibilidad. En algunos casos será de una sencillez extrema, pues el proceso está ya previsto y las conexiones son rápidas y sencillas. En otras, será necesario intercalar un filtro en los circuitos de lectura para eliminar la señal inducida de la cabeza de grabación en el material de lectura y esto puede resultar realmente complicado si no se tienen nociones de electrónica.

Efectos con variación manual de la velocidad

En ocasiones, dependiendo del material sonoro, se obtienen efectos interesantes, pasando la cinta a mano (girando los carretes) e imprimien-

do velocidades variables y grabando el resultado en otra cinta. Por supuesto que si se dispone de un variador de velocidad para el motor del cabrestante, es posible hacerlo automáticamente. En algunas grabadoras esto es sencillo, y se sugiere consultar al representante, pues si se tiene motor de corriente continua, con un simple potenciómetro (o resistencia variable) se logra la variación de velocidad. Si el motor es síncrono, la solución es más compleja, pero también se logra con un oscilador y un amplificador de unos 150 watts, conectado directamente al motor.

Envolventes por corte longitudinal de las cintas

En los primeros laboratorios se simulaban envolventes del material sonoro cortando las cintas magnéticas en varias formas y pegándolas sobre cinta virgen. Si la cinta es resistente (la de 1200 pies, o 400 mts.), se pueden hacer cortes caprichosos en forma longitudinal (a lo largo de ella), alterando la dinámica del material sonoro que contiene. Esto la debilita y es aconsejable al terminar, grabar el resultado sobre una cinta completa. Mi experiencia al respecto, es que el trabajo no corresponde a los resultados y viene al caso lo que el Ingeniero Poullin, de Radio Francia, decía al respecto: "Las transformaciones por montajes (cortes y reempalmes de cinta magnética) son muy delicados y con mucha frecuencia decepcionantes". De hecho, esta técnica, como muchas otras de este capítulo, se han ido abandonando ante soluciones más modernas y menos complejas. Pero en la cinta magnética, como en tantas otras cosas de la vida, cualquier cosa es válida si el resultado es bueno... y se tiene la paciencia y la habilidad para lograrlo.

Magnetófonos de grabación numérica y no sonora

Para cerrar este capítulo quiero que el lector sepa que han comenzado a aparecer en el mercado, nuevas grabadoras de tipo digital, donde el sonido es convertido a los valores numéricos de su intensidad; se graban estos números en la cinta y al ser reproducidos se pasan de nuevo a los valores de ondas sonoras. Todo esto se verá con detalle en el capítulo de las computadoras y será saludable una relectura de esta parte, al familiarizarse con el sistema; por lo pronto y como debe quedar en su parte correspondiente sobre magnetófonos, lo consigno. Estas grabadoras son superiores en fidelidad, relación señal a ruido, separación entre canales, borrado, calcado entre capas, etc., a las grabadoras profesionales más finas, del tipo sonoro (analógico) existentes a la fecha en el mercado. Pero no por una pequeña diferencia. La concepción es totalmente diferente y los resultados son casi increíbles... su precio también es muy superior a las mejores grabadoras analógicas profesionales.

Sólo algunos diagramas nos pueden mostrar la superioridad aludida. En la parte superior se muestra la forma de operación, en la inferior se muestra una comparación de la grabación de un sonido de 10 Khz. en una grabadora analógica profesional de alta calidad y la misma respuesta en una digital. La figura habla por sí misma y no haremos más comentarios, sólo advertiremos al lector, que en un futuro no muy lejano los sistemas digitales desplazarán a los analógicos en el ámbito del sonido, sea grabación, reproducción o creación musicales, como veremos con más detalle en el capítulo de computadoras.

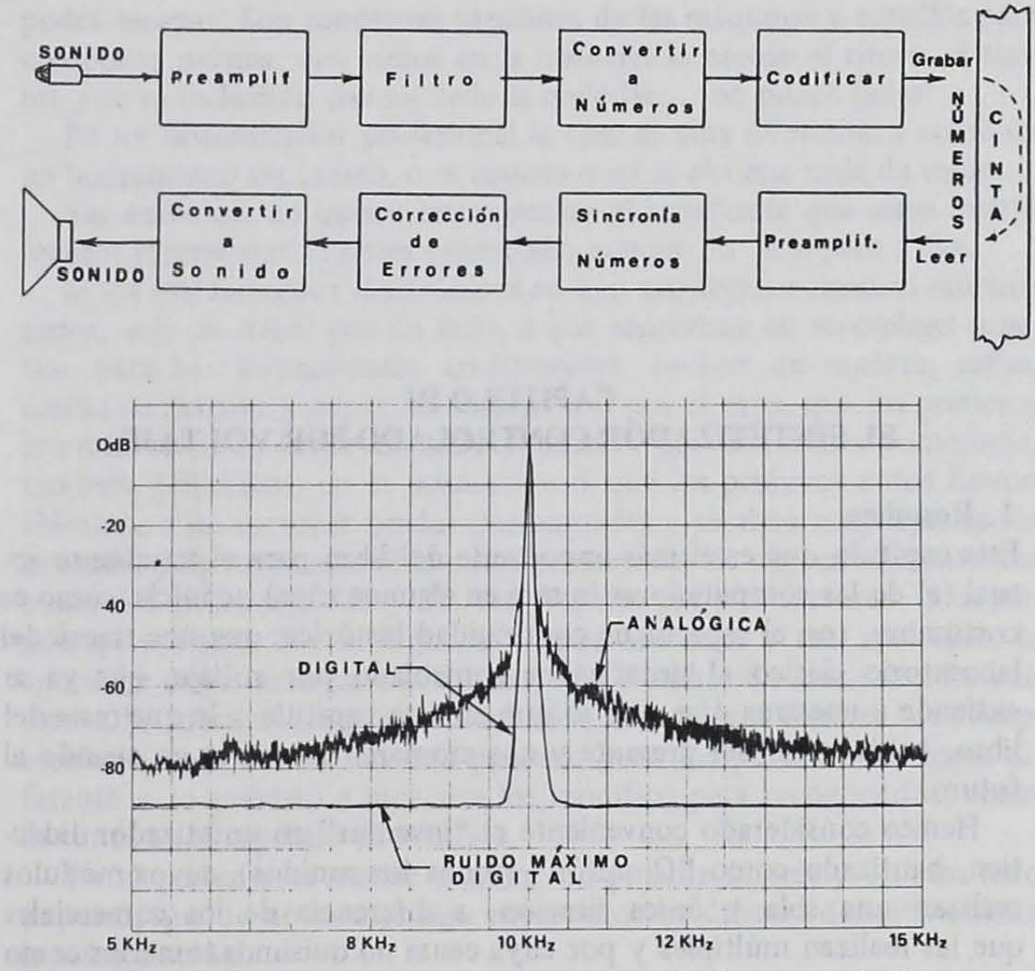


Figura III.15 Comparación de respuesta y ruido de una grabadora digital y una analógica, y su forma de operación.

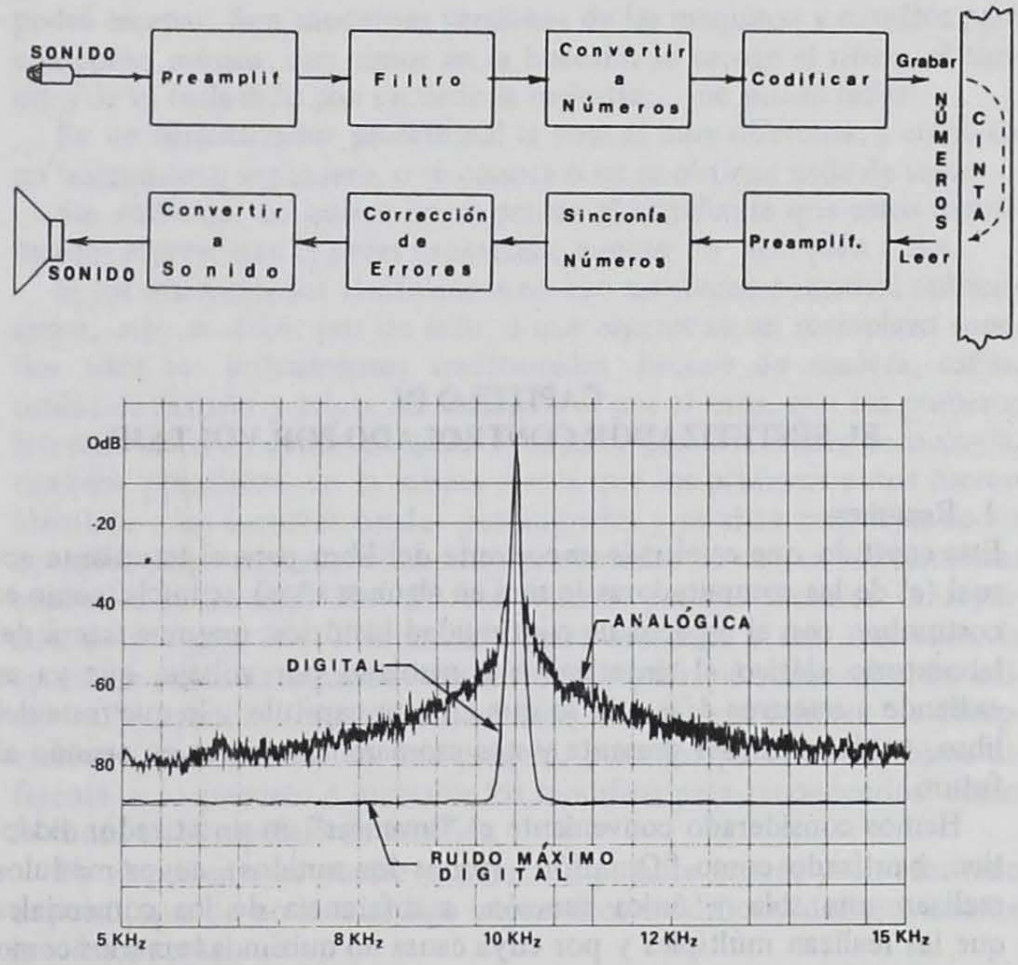


Figura III.15 Comparación de respuesta y ruido de una grabadora digital y una analógica, y su forma de operación.

CAPITULO IV
EL SINTETIZADOR CONTROLADO POR VOLTAJE

1. Resumen .

Este capítulo es el objetivo del libro

Este capítulo que es el más importante del libro para el estudiante actual (el de las computadoras lo será en algunos años), se inicia, como es costumbre, con el aspecto de continuidad histórica, que nos traerá del laboratorio clásico al sintetizador controlado por voltaje, que ya se extiende a nuestros días, por lo que en este capítulo y lo que resta del libro, hablaremos del presente y nos asomaremos de vez en cuando al futuro.

Se estudiará un sintetizador didáctico prototipo

Hemos considerado conveniente el "inventar" un sintetizador didáctico, bautizado como "Omnifón" (todos los sonidos), cuyos módulos realizan una sola y única función, a diferencia de los comerciales que las realizan múltiples y por cuya causa no quisimos tomarlos como modelo. El aprendizaje de las funciones aisladas será similar al de las letras que cuando ya son bien conocidas, se reconocen las palabras sin dificultad.

Los módulos se dividirán por funciones

En forma similar al capítulo anterior, dividiremos las funciones del omnifón en familias, para su mejor asimilación y aprendizaje. Una vez comprendidos los módulos aisladamente, se realizará un alambrado, usando varios módulos y como ejemplo del procedimiento general a seguir, esto no será difícil para el estudiante ya que en cada módulo individual se estudian las conexiones tipo para el mismo. También se anotan las variaciones comerciales a modo de hacer más universal el módulo estudiado.

Nuestro omnifón es de tipo modular, y se requiere un alambrado para obtener cada tipo de sonido deseado. En el mercado han comenzado a aparecer sintetizadores con alambrado interno y que forman su sonido a base de palancas y botones. Pensamos que este tipo de sintetizador impide la expresión personal del compositor, que siente la necesidad de realizar hallazgos sonoros al igual que en una orquesta, por combinación personal de los elementos dispersos. Si el estudiante tiene la posibilidad de usar o adquirir un sintetizador, insistimos fuertemente que lo haga en éste tipo modular a base de alambrado... y también que aprenda a distinguir los verdaderos sintetizadores, de los pequeños juguetes que existen en el mercado, que no pasan de ser organitos electrónicos portátiles, con los refinamientos más modernos, pero que encadenan al compositor a patrones preconcebidos de los cuales no

podrá escapar. Son modernas versiones de las máquinas y cursillos para componer música, que vimos en la historia: se escoge el ritmo, el timbre y se va tecleando con un dedo la melodía... ¡no puede fallar!

En un sintentizador profesional la cosa es muy diferente, y como en un instrumento verdadero, o se conoce o no se obtiene nada de valor.

Sin embargo, no quiero hacer pensar al estudiante que estos instrumentos representan la tierra prometida, aunque no acerquen a ella.

Dificultad en la asimilación de los nuevos sonidos

Si los instrumentos electrónicos no han satisfecho a muchos músicos serios, esto se debe, por un lado, a que esperaban un reemplazo superior para los instrumentos tradicionales hechos de madera, cañas, cerdas de caballo y tripas de borrego... y por el otro, que los primeros intentos fueron, como en toda excursión por una nueva tecnología, también primitivos, en la misma forma que los primeros autos fueron idénticos a las carrozas tiradas por animales y estaban muy lejos de los actuales; y fue así como el impulso prometedor de nuevos instrumentos musicales de los años 20 y 30, fue frenado por tres factores: la depresión de los años 30, la Segunda Guerra Mundial, y más que ellas, la aparición de los sistemas de reproducción y grabación musicales. En adición a lo anterior, la reacción del oído ante nuevos timbres fue decepcionante, para decirlo en una palabra, pues los percibió en forma diferente a lo previsto e inclusive los modificó para reconocerlos, como lo vimos en el capítulo de acústica.

En el presente se vuelve a notar un pujante interés y un renovado impulso, que de no mediar algo imprevisto, modificará definitivamente la música actual.

Colaboración de músicos e ingenieros

El maestro Carlos Chávez, en su libro *"Hacia una nueva música"* expresaba: La colaboración de ingenieros y músicos debe producir en algunos años un material apropiado y práctico para grandes realizaciones musicales. La increíble armonía de timbres, en la cual la perfecta gradación de colorido es obtenida; la evaluación de la intensidad de los planos que produce una perspectiva efectiva del sonido; la articulación de los ritmos más complejos; la melodización más delicada y variada... todo esto se logrará a través de los medios eléctricos de producción sonora.

2. Esbozo histórico *(continuación)*

Tras el arranque de la nueva tecnología, realizado por Radio Francia y Radio Colonia, en los años 50, comenzaron a establecerse estudios equipados más o menos en el mismo modelo de los precursores. No fue sino hasta 1964-65 que surgió una innovación que daría más flexibilidad y facilidad a la realización de obras musicales y que también resolvía el problema que sintió Schaeffer al afirmar que "no había instrumento musical" para la música electrónica. Nos referimos a los voltajes de control para la operación de estos poderosos instrumentos, que permitió la operación "en vivo" ...y la creación de un nuevo sitial en la ejecusión musical: el sintetista.

Algunos autores consideran que el primer sintetizador fue construido por los inventores franceses Coupleux y Givelet en 1929, y que consistía en un órgano electrónico que se hacía funcionar con un rollo de

papel perforado similar al de las pianolas. Yo difiero de su opinión, pues un sintetizador no es un aparato musical que puede funcionar automáticamente por medio de una "programación" previa, ya que esto lo hacían los instrumentos mecánicos que hemos visto y no eran sintetizadores... aunque los sintetizadores lo realicen con facilidad.

El sintetizador no es un instrumento sino un sistema sonoro

Un sintetizador es un "sistema" en el cual los sonidos completos no existen en forma ya estructurada, sino que se producen por medio de la síntesis de sus elementos sonoros constitutivos. El sonido, en un instrumento tradicional, está ya hecho en forma fija y no es posible alterarlo sino en su intensidad, altura y en menor grado, timbre y envolvente. En el sintetizador el sonido existe en elementos absolutamente independientes, que pueden ser combinados a voluntad del operador o "sintetista", y así podremos formar un sonido con ataque de tipo trompeta, duración tipo órgano, decaimiento instantáneo (no hay instrumento que lo produzca), timbre tipo violín, vibrato a voluntad, la reverberación de una catedral, la intensidad de 100 instrumentos en ff, en fin, como lo expresé con anterioridad, el calificativo más apropiado sería el de omnifón, pero hemos de respetar el universalmente aceptado de sintetizador, nombre que aparentemente fue utilizado por primera vez por la RCA (Radio Corporation of America), al construir por el año de 1951 (anunciado públicamente el 31 de enero de 1955), su "Sintetizador Musical Electrónico".

Uso de la palabra "sintetizador" por primera vez

3. Los sintetizadores de la RCA

El nombre era nuevo, pero los conceptos no, pues ya vimos que en los estudios de París y Colonia, la síntesis musical se practicaba en forma avanzada y los recursos automáticos eran abundantes.

Se requería la perforación previa de una "partitura"

La forma de operación del sintetizador RCA era parecida a la de una pianola: en un rollo de papel se perforaban las voces en una clave especial y sólo dos a la vez. El papel perforado era pasado por escobillas eléctricas que al encontrar una perforación cerraban circuitos eléctricos, que a su vez accionaban a los mecanismos electrónicos sonoros.

Se programaban dos voces cada vez

Cada una de las voces o salidas se grababa en disco y finalmente todas las voces se unían para la obra final, realizándose en disco la grabación terminada.

La primera grabación (*Blue Skies*, de Irving Berlin) se hizo imitando música tradicional al estilo de una banda de baile de la época y fue terminada el 1o. de abril de 1952.

El sintetizador estaba "afinado" en la escala temperada y su reducida producción, por lo que he podido investigar, y con poquísimas excepciones (Milton Babbit principalmente y Otto Luening y Vladimir Ussachevsky, en menor grado experimentaron con él), se realizó siempre imitando música tradicional con instrumentos tradicionales.

Una segunda versión fue construida, el RCA sound sinthesizer Mark-II –que fue finalmente donado al estudio de música de las universidades de Columbia y Princeton, en julio de 1959– pero su dificultad de operación y programación (se operaba en la clave binaria de las computadoras), así como su enorme costo y volumen, no lo hicieron fácilmente accesible a los músicos y a su deseo de experimentar

Era de difícil manejo

nuevas sonoridades, a tal grado que se afirmaba que sólo Babbit lo dominaba lo suficientemente para poder componer en él sin el auxilio permanente de un ingeniero. Por lo demás, sus objetivos eran más modestos que los europeos, y aunque en su presentación se dijo que "ponían en manos de los músicos un instrumento enteramente nuevo y con potencialidades ilimitadas", la verdad es que era esencialmente una obra de ingeniería (Olson, Belar y el personal de acústica de la R C A), y no lo respaldaba un credo artístico de innovación musical, como en Europa. Se deseaba demostrar hasta que punto había progresado la electrónica-musical y se logró el objetivo.

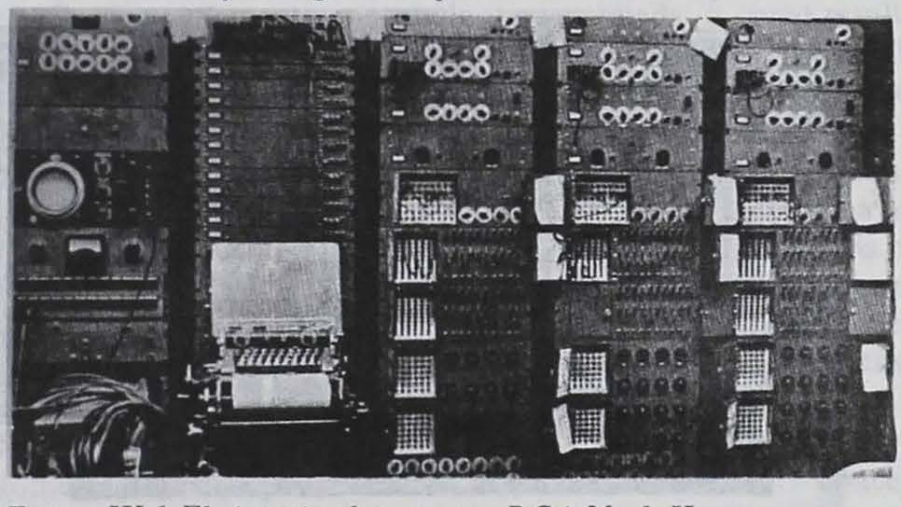


Figura IV.1 El sintetizador sonoro RCA Mark II.

4. Los sintetizadores de Moog y Buchla

El nombre se conservó, pero la solución técnica más adecuada y lógica para la música tomó otro camino aunque, y justo es reconocerlo, no salió de los Estados Unidos, donde la semilla –desde Cahill– germinaba con celeridad.

Aparición del voltaje de control

A fines de 1964 en la 16a. convención anual de la Sociedad de Ingenieros de Audio de los Estados Unidos, en Nueva York, un ingeniero presentaba la conferencia "Módulos musicales electrónicos controlados por voltaje", y exhibió una pequeña colección de ellos como muestra de la realización práctica del contenido de la conferencia. El nombre del ingeniero: Roberto Moog (pronunciado como se escribe), desde entonces el nombre más conocido en sintetizadores. Sus colaboradores y consultores en música, fueron los compositores Herbert Deutsch y Myron Schaeffer (no el de Radio Francia).

En el otro extremo de la Unión Americana, por el año de 1965, la Fundación Rockefeller otorgó una donación al "Centro de San Francisco para música de cinta" (San Francisco tape music Center), en California, para el desarrollo de un sintetizador controlado por voltaje, del cual ya había algunos módulos experimentales hechos con material de desecho de guerra desde 1963. Se pretendía diseñar un sintetizador, en forma cooperativa, entre un ingeniero –Donald Buchla– y dos compositores –Morton Subotnick y Ramon Sender.

El sintetizador es un estudio completo y compacto

Ambos sintetizadores (Moog y Buchla) usaban el nuevo concepto: las manipulaciones se realizaban a base de voltajes de control en todo lo posible, reduciendo la labor manual al mínimo. Adicionalmente incorporaban a la mayoría de los aparatos del estudio clásico, en forma muy compacta y transistorizada, y en base a unidades independientes o "módulos" para realizar cada función en forma individual o producir cada elemento sonoro por separado. Todos los módulos eran compatibles entre sí y se interconectaban con cables para la formación de "circuitos sonoros" al deseo y diseño del compositor y con el mayor de los atractivos: ¡barato!

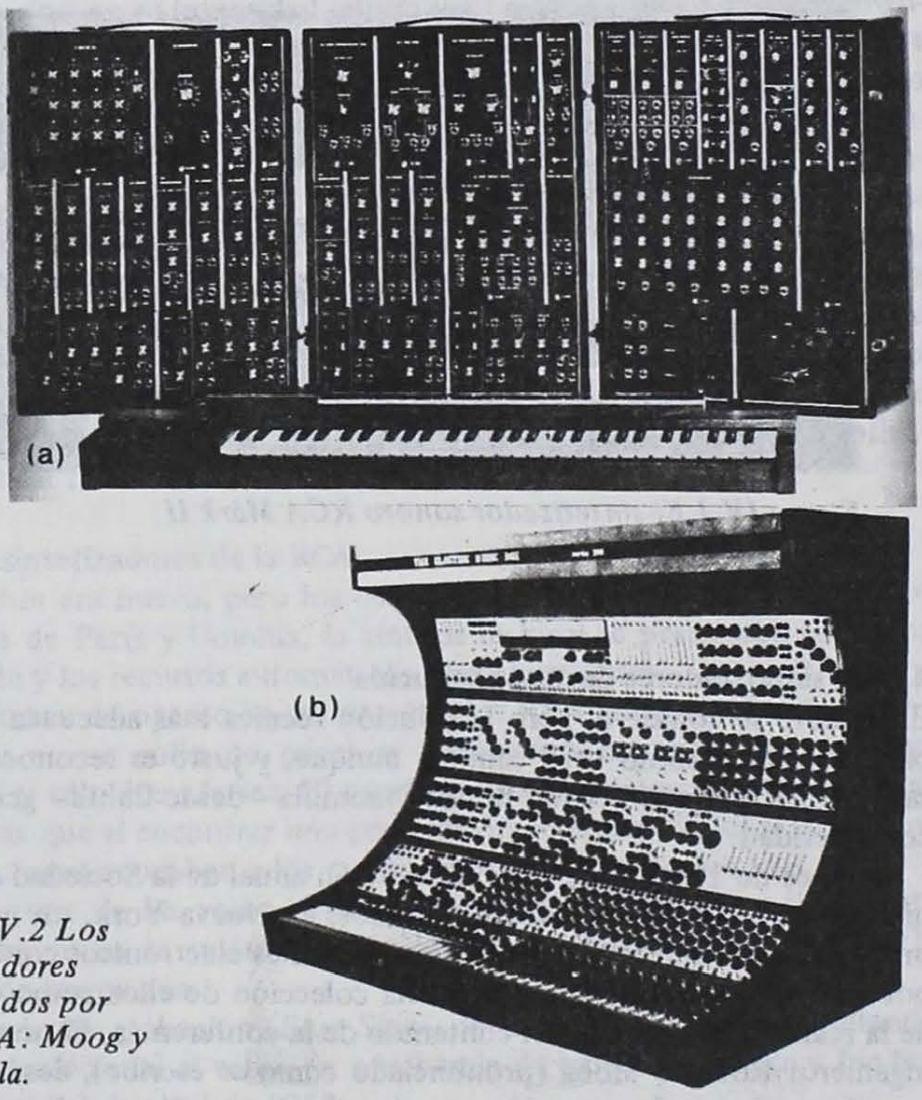


Figura IV.2 Los sintetizadores controlados por voltaje, A: Moog y B: Buchla.

La solución se populariza

La tecnología electrónico-musical encontraba una solución satisfactoria, aunque no totalmente revolucionaria, sino más bien como una prolongación lógica y mejorada de los conceptos del laboratorio clásico. La solución parecía ser la esperada, puesto que a partir de ese momento, y siguiendo los mismos lineamientos, la idea se populariza y el ámbito musical comienza a experimentar en forma acelerada la aparición continua e incontenible de nuevos sintetizadores cada vez más poderosos, más baratos, más versátiles y más pequeños; al alcance de todos los compositores y músicos de profesión. Veamos pues la médula de este cambio: los voltajes de control.

Lo que significa el voltaje de control

La diferencia fundamental entre un estudio clásico y un sintetizador moderno, haciendo a un lado la miniaturización y estructura modular compatible, es que en el sintetizador gran parte del control de los aparatos se realiza a base de voltajes, en lugar de las operaciones manuales, tales como: giro de perillas, conexión y desconexión de interruptores, operación de teclados, etc., y también en lugar de los controles remotos a base de relevadores y circuitos eléctricos, que eran grandes, lentos y poco eficientes, pero lo más poderoso es indudablemente la posibilidad del control automático y programado de los módulos para producir secuencias musicales completas; en otras palabras, una automatización del aparato que puede ser previamente concebida y programada, y como resultado una liberación considerable de su operación manual, que suele ser abrumadora para el compositor y aún más para el sintetista, especialmente en actuaciones en vivo.

Ya hemos visto que en los laboratorios clásicos existían muchas alternativas de control remoto y la necesidad de una mecanización mayor se hacía necesaria. De hecho en algunos casos, como en el teclado y la cinta del trautonio, el voltaje de control estaba ya implícito, pero en términos generales los controles eran electromecánicos y lo que era determinante: el equipo no estaba centrado sobre esta idea, aunque estuviera ya intuída.

El control a base de voltajes, en la forma moderna, es enteramente electrónico, y el equipo está concebido alrededor de este concepto, formando parte integrante del circuito del mismo aparato. Tal control podíamos definirlo como la característica que permite que la operación de un aparato sea determinada por otro aparato.

5. Los voltajes de control

Hay dos clases de voltajes de control

Los voltajes de control que aparecen en los sintetizadores son de dos géneros: el primero y más usual, es un voltaje continuo (como el de las baterías), pero que varía entre un mínimo y un máximo pongamos por caso entre 0 y 15 volts. Este voltaje al ser aplicado a un módulo determinado, toma las veces o sustituye a una operación manual (por ejemplo el giro de una perilla, o el deslizador de un cursor) y así, si aplicamos cero volts, equivaldrá a tener la perilla en su posición de mínimo y si aplicamos 15 volts lo será al máximo, con todos los valores intermedios. El segundo, es un voltaje de control instantáneo, llamado pulso, y es usado para iniciar, terminar o repetir ciertos eventos musicales. El pulso puede ser de unos 16 volts instantáneos, como ejemplo, y pueden ser aislados y también repetitivos, pero no como parte de una cierta frecuencia con forma de onda pulso y con fines sonoros, ya que puede ser asíncrono, es decir venir por grupos y después aislado y también nulo, en otras palabras no es oscilación, y cuando pudiera suponerse que lo fuese, no es periódica, y esto aclara que se trata de un voltaje de control pulso.

Voltaje de control continuo

La siguiente figura nos muestra las posiciones descritas con anterioridad para una perilla y los voltajes de control equivalentes, que accionarían en la misma forma de la perilla a cierto mecanismo.

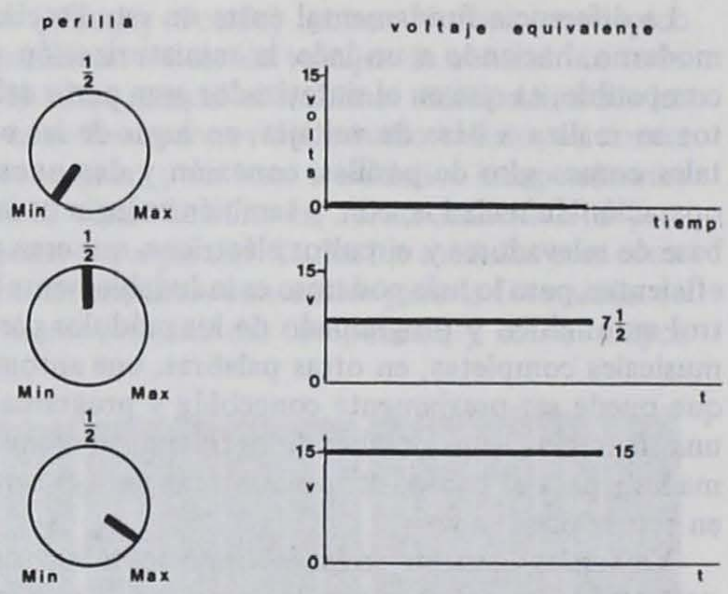


Figura IV.3 Posiciones de una perilla y sus equivalentes de voltajes de control.

Como los voltajes de control fueron la innovación básica de los sintetizadores modernos, vamos a anticipar un poco algunos conceptos, para que quede perfectamente claro en el estudiante lo que son y como se comportan. Pensamos que la figura y explicación anteriores, habrán dejado claro al voltaje continuo de control, extendámonos un poco más en el pulso.

Voltaje de control en impulso (o pulso)

El pulso puede ser corto o largo, y por lo común se mide en un porciento (%) del evento musical que se desea controlar. El primer pulso de la figura que sigue, nos muestra un pulso con 0% de régimen (teóricamente, pues en realidad toma una mínima fracción de tiempo).

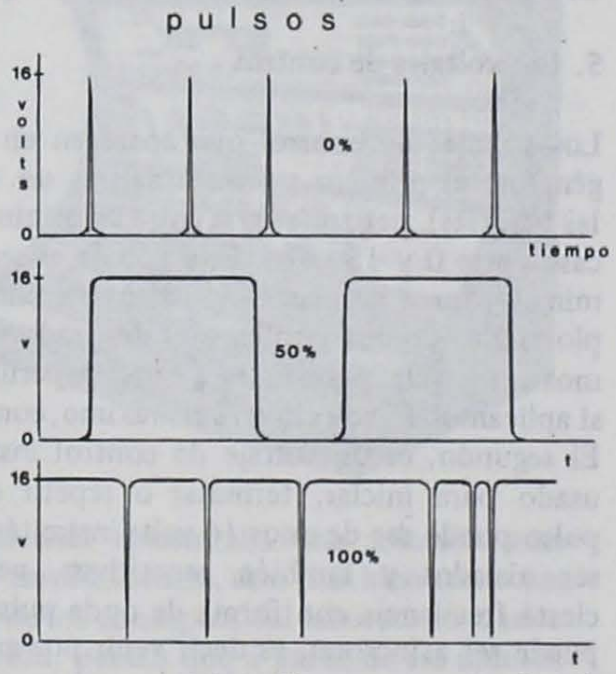


Figura IV.4 Tres tipos de pulsos de control.

El segundo pulso tiene un régimen del 50% y es un rectángulo perfecto (más bien un trapecio, pues el ascenso y descenso no son enteramente verticales). El valor del pulso final es de 100%, también en forma teórica, ya que si hay varios pulsos contiguos, como se indica en la misma figura, existirá una discontinuidad o separación entre ellos,

Ejemplos de uso de los voltajes de control

Dos ejemplos prácticos aclararán estos conceptos. El primero será usando voltajes de control, y se trata de un oscilador controlado en su frecuencia, tanto manualmente por medio de una perilla, como también por intermedio de un voltaje de control. Vamos a suponer que deseamos obtener un arpegio do-mi-sol-la.

Una forma será marcar en la perilla las cuatro posiciones donde se obtienen estas notas y después pasar manualmente de una a otra. Esta es la forma más burda y primitiva y sin embargo muchos instrumentos electrónicos antiguos funcionaban en forma similar. Los problemas son obvios: el glissando será inevitable (por más rápido que se haga) y la desafinación también, y más aún, si se requiere hacerlo rápido será casi imposible lograrlo con limpieza y precisión.

Para obtener un simple arpegio

La otra forma será la de construir un aparato que nos pueda dar cualquier voltaje entre cero y quince volts (en términos técnicos: un divisor de voltaje) y dotarlo de una serie de botones, teclas o cualquier otro medio de accionar a voluntad cualquier voltaje pre-seleccionado. Los teclados de los sintetizadores, la cinta restirada de trautwein (vista en el Capítulo III), y muchos otros mecanismos no son sino divisores de voltaje de este tipo.

Ahora ya es sencillo obtener este arpegio, o cualquier otro, en la forma más simple: igual que en un instrumento tradicional de teclado.

El lector se preguntará: ¿para qué tanto rodeo?, con haber conectado el teclado al oscilador desde un principio, el resultado hubiese sido el mismo... eso es cierto, de hecho los órganos electrónicos trabajan así, pero en este caso debe recordarse que lo importante es el tener un voltaje de control sin conexión permanente y entonces podremos usarlo en activar filtros, controles de volumen, mezcladores, generadores de envolvente, y todos los demás módulos controlables por voltaje de nuestro sintetizador, y no sólo el arpegio ejemplificado.

Pasemos ahora al segundo ejemplo, que se refiere a los pulsos de tiempo. En nuestra explicación hemos incluido al pulso de tiempo en la familia de los voltajes de control y no en la de los sonidos o señales de audiofrecuencia, por tener las características explicadas antes, y también porque se utilizan siempre en conjunción con los primeros y nunca con los segundos.

Vamos a poner también un ejemplo práctico, ahora mediante una figura que indica lo que sucede.

Para una nota con envolvente

Al oprimir una tecla de un teclado de sintetizador, aparecen dos voltajes por separado: un voltaje de control que será diferente para cada tecla y que será conectado a un cierto oscilador, el que conforme al valor del voltaje recibido, producirá la nota seleccionada, como lo vimos en el ejemplo anterior.

También aparecerá un pulso de tiempo, que será siempre del mismo valor para cualquier tecla que se oprima y que es susceptible de programarse previamente en su por ciento, y es así como, si le asignamos 0%, el pulso será un brevísimo voltaje de 16 volts (en nuestro ejemplo), que se iniciará al oprimir la tecla y cuyo término será casi instantáneo e independiente del tiempo que la tecla esté oprimida. Por el contrario,

Diferentes regímenes de pulso

si se le asigna un régimen de 100%, el pulso durará todo el tiempo que la tecla esté oprimida.

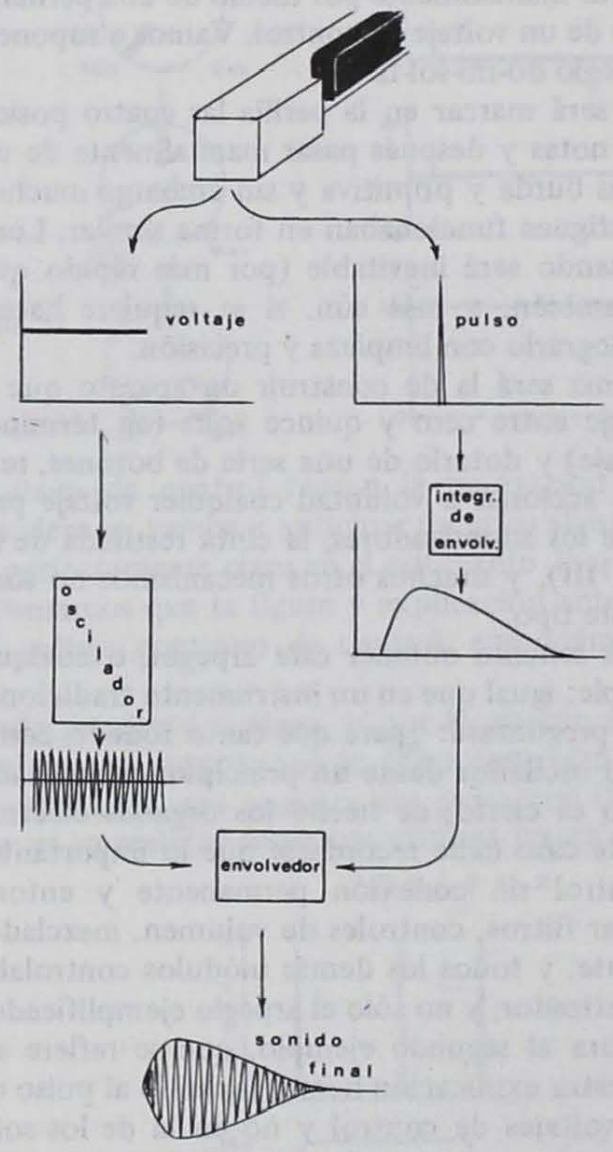


Figura IV.5 Producción de una nota mediante voltajes de control.

Vamos a redondear nuestro ejemplo conectando el pulso a un módulo que al recibirlo, formará una envolvente conforme a valores recibidos del pulso de control. Observemos lo que sucede ahora en tres casos:

1. Pulso con 0% de régimen: Al apretar la tecla, el pulso es emitido, pero termina en el acto. En este caso se genera una envolvente que comienza a decaer al término del ataque, es decir, su duración es nula o inexistente.

2. Pulso con algún valor entre 0% y 100%: Al apretar la tecla, el pulso inicia el ataque y al terminar éste, le seguirá la duración por cierto tiempo en función del valor en % asignado, al término de la duración se iniciará el decaimiento, pero si la tecla sigue oprimida, el sonido terminará antes de soltar la tecla. En caso de soltar la tecla, el decaimiento se iniciará en ese momento.

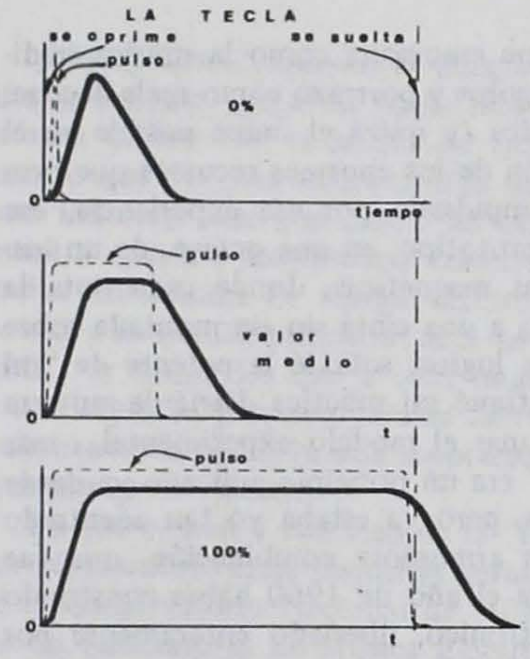


Figura IV.6 Envolvente para pulsos de diversos porcientos de control.

3. Pulso con 100% de régimen: El ataque se inicia con la aparición del pulso al apretar la tecla, se liga con la duración que se prolongará durante todo el tiempo que permanezca oprimida la tecla y el decaimiento se iniciará al soltar la tecla. La figura debe aclarar lo explicado, aunque debo advertir que el ejemplo está simplificado, porque el objetivo es aclarar el concepto de pulso de control y en la realidad las cosas suceden en forma algo más compleja, como se verá adelante.

Nuestro sintetizador didáctico

Volviendo al cuerpo del texto, los voltajes de control fueron la innovación principal que nos sitúa de lleno en el presente. Para el estudio del sintetizador, he pensado que será más didáctico si configuro o diseño un sintetizador que, aunque inexistente en el mercado, reúna la totalidad de los conceptos existentes, en los sintetizadores comerciales más conocidos. Si el lector logra comprender y familiarizarse con el sintetizador "prototipo", podrá posteriormente manipular con cierta soltura inicial cualquier otro que se encuentre en su vida profesional.

En los últimos años han aparecido sintetizadores de tipo especializado, que responden electrónicamente, como si fueran instrumentos reales: a la percusión, a la presión del aire (como en los instrumentos de aliento), etc., y así es posible obtenerlos "de cuerdas", "de percusión", de voz solista, polifónicos, y también dirigidos a ciertos instrumentos tradicionales específicos, a modo de aumentar sus recursos naturales y expandir su acción con efectos electrónicos sonoros derivados de los sonidos naturales, y se encontrarán: para flauta, para guitarra, etc. Todos ellos están basados en los mismos principios y el objetivo de estos escritos es precisamente, el familiarizar al estudiante con ellos, más que conocer un sintetizador específico que pudiera no llegar jámas a sus manos. Una corta introducción nos presentará a éste sintetizador ideal, cuyo nombre es "Omnifón".

Su historia

Por el año de 1958, estando en París para unos trabajos técnicos de mi compañía, escuché un concierto de música concreta presentado por Pierre Schaeffer en Radio Francia. Este fue mi primer contacto con la música producida electrónicamente y aunque desde los años de escuela, alternaba mis estudios de electrónica con mi afición por la música y construía pequeños artefactos electrónico-musicales, en un esfuerzo por combinar mis dos afectos: la electrónica y la música, nunca había presenciado un espectáculo similar. Era natural que me causara una profunda impresión, ya no tanto de placer estético –debo

reconocer que hasta la fecha no me emociona como la música tradicional– sino por haber sentido de golpe y porrrazo como suele decirse, que el camino lógico para la música (y quizá el único posible en el presente) era mediante la utilización de los enormes recursos que proporciona la electrónica musical. Impulsado por esa experiencia, ese mismo año construía un modelo prototipo, en una octava, de un instrumento musical a base de cintas magnéticas, donde cada nota la daba una cabeza de lectura aplicada a una cinta sin fin montada sobre un cilindro. Entusiasmado por los logros, solicité la patente de "mi invención". Falto de tiempo, sacrifiqué mi práctica diaria de guitarra y piano para construir y perfeccionar el modelo experimental... más tarde descubriría que "mi patente" era un principio aplicado ya desde años antes en varios instrumentos, pero ya estaba yo tan adentrado en la música y la electrónica en armoniosa combinación, que fue imposible salir de ese paraíso. Para el año de 1960 había construido ya un pequeño instrumento electrónico, diseñado enteramente por mí mismo. Constaba de un oscilador de ondas senoidal, cuadrada y rampa, variables continuamente entre 10 hz. y 20 Khz., y con una pureza de onda que no he visto hasta la fecha en ningún sintetizador comercial. En adición, tenía un generador de envolvente, una serie de filtros tímbricos, un generador de ruido blanco y otras facilidades... metidas todas dentro de un piano mudo que emitió sus primeros sonidos en lenguaje electrónico. Al aparato lo bauticé como Omnifón... y aquí termina este esbozo autobiográfico del origen de este instrumento, cuyo nombre conservaremos para nuestro sintetizador didáctico.

Omnifón=todos los sonidos

Figura IV.7 Generadores del "Omnifón" de los años 60. Diseño y construcción del autor.

¿Mis aparatos?, bueno, el tiempo ha pasado y no tienen más valor ahora, si acaso, que el de haber sido los precursores de la música electrónica en México, si es que no existe algún otro ingeniero más fracasado que yo, con instrumentos más antiguos. También representan una industria más que murió sin haber nacido, por obra y gracia de nuestra apatía e indiferencia tradicionales (se ofreció la fabricación a varios fabricantes de equipo electrónico). Así, el teclado electrónico volvió a su mudez primitiva, ante las voces potentes de Moog, Buchla, EMS... y todos los que a cada momento irrumpen con nuevas ideas y con capitales y apoyo para su fabricación y comercialización, que seguramente encontrarán una aceptación calurosa en ambientes más progresistas que el nuestro.

Ya que comencé con algo de la "historia de México", quiero terminar rápidamente estas pequeñas notas. El 6 de octubre de 1965, presenté al Conservatorio Nacional de Música, un proyecto para la creación de un Laboratorio de Música Electrónica. El Director era el maestro Amparán, ya muy cercano a su jubilación y el resultado fue el archivo permanente de mi proyecto.

Creación del primer estudio en México

No fue sino hasta los años 1969-1970 que por otras vías se me "descubrió", y en cooperación con Héctor Quintanar, quien consiguió un financiamiento de empresas privadas, se fundó el primer laboratorio de música electrónica en el Conservatorio, con equipo de Buchla, Moog y otros.

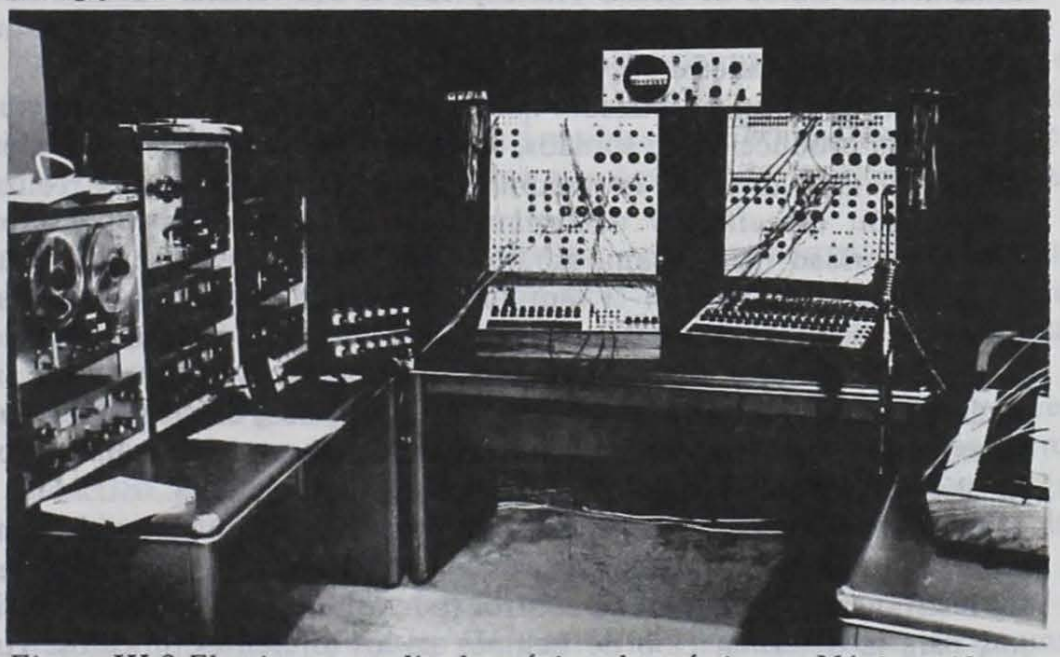


Figura IV.8 El primer estudio de música electrónica en México. Al frente el equipo Buchla, a la derecha Moog.

Primer concierto en México

Para cerrar estas notas, en México, aparentemente, el primer concierto de música electrónica se presentó el 27 de julio de 1961, por la Asociación Manuel M. Ponce y preparado por Jiménez Mabarak. Las obras: de Pierre Schaeffer, Sauguet, Xenakis, Stockhausen, Badings, Varese y otros... por supuesto en la forma de la época: un magnetófono que se movió impasible, ante la incredulidad de los que asistieron al "concierto" sin músicos.

6. El *Omnifón*, un sintetizador didáctico y sus módulos

Siguiendo la pauta señalada en el capítulo previo, el omnifón será dividido para su estudio en las partes siguientes:

A. Generación.
B. Mezcla.
C. Control.
D. Modificación.
E. Grabación y edición.
F. Reproducción, amplificación y audición del material sonoro.

Al inicio de cada grupo irá una corta nota conceptual

En los apuntes preparados para mi curso de "Electrónica musical", desde el año 1970, decidí –en vista del nivel irregular de los alumnos en el conocimiento de la acústica–, que antes de la descripción de cada familia de módulos, intercalaría una pequeña introducción para ubicar adecuadamente al estudiante sobre el principio físico que se va a manipular. En este libro hemos presentado ya un capítulo previo sobre acústica musical, y el que lo leyó estará perfectamente familiarizado con lo que está haciendo. Sin embargo, no deseo alterar esta costumbre, aunque sólo sea para el beneficio de los que no tuvieron el tiempo o la paciencia para leer dicho capítulo y así, para los que ya lo saben, será un minúsculo recordatorio sumario en unas pocas líneas que no los perjudicará, a cambio de que para los que lo ignoran será positivamente fundamental. Como de hecho este capítulo es una versión –aumentada y corregida– de tales apuntes, seguirá la misma estructura, que ha dado buenos resultados didácticos y que paso a describir brevemente.

El omnifón es un sintetizador profesional

El omnifón es un sintetizador que reune todos los elementos necesarios para la producción de sonidos, desde los más simples hasta los más complejos. Está dividido en módulos, cada uno de los cuales realiza una función específica y determinada de los elementos enunciados con anterioridad (generación, modificación, mezcla...). El sonido final es un sonido sintético, en el sentido que ha sido formado progresivamente por sus partes constitutivas. Este es un nuevo instrumento que no pretende imitar a los tradicionales (aunque a veces lo logre con gran fidelidad), sino que pone en las manos de los músicos elementos nuevos de expresión y valores musicales desconocidos hasta ahora en la producción sonora por los medios e instrumentos tradicionales.

Para la obtención de un sonido, se requiere alambrar los módulos

La interrelación (o la operación conjunta) de los módulos del omnifón se realiza por medio de cables que conectan las tres señales del instrumento: de audio, de control (por voltajes) y de pulsos eléctricos, para la determinación de tiempos en los diferentes procesos. Todos los módulos son pequeños, transistorizados (los más modernos, con circuitos integrados) e intercambiables.

El compositor o sintetista puede configurar su propio instrumento mediante la selección de los módulos más adaptables a sus requisitos artísticos, y también modificarlo ad-libitum. Cada grupo o familia de módulos del omnifón, posee un número determinado de éstos, que realizan uno o varios aspectos del concepto de funcionamiento anotado. Para la descripción y comprensión de cada módulo, se procederá como sigue:

En primer término anotaremos el nombre de la familia de módulos que se estudian, enseguida los principios físicos mínimos necesarios para la comprensión del porqué esa familia. Finalmente se presentan cada uno de los módulos en esa familia, bajo la estructura siguiente:

Formato explicativo para cada módulo

Nombre del módulo.
Grupo o familia.
Función.
Controles (entrada-operación-salida).
Conexiones tipo.
Variaciones comerciales.

El nombre del módulo se refiere, en términos generales, a una indicación de su función en forma abreviada, preferentemente en una sola palabra.

El grupo o familia se refiere a la clasificación, que con fines didácticos hicimos previamente.

La función explica con detalle **qué** puede hacer el módulo, o en otras palabras, su "definición de operación".

En los controles se explica **cómo** obtener lo que puede hacer el módulo, y se anotan, en secuencia: a) Las entradas, b) la operación, mediante los controles manuales y los automáticos para el logro de las funciones diseñadas; y c) las salidas del módulo. Esta parte viene a ser un instructivo brevísimo de operación, que explica cada uno de los elementos de la manipulación que deben operarse para obtener en forma óptima, su funcionamiento.

La conexión tipo es una anotación sobre algunas formas normales de interconexión con los otros módulos del omnifón. Se comprende que es sólo una muestra de los alambrados posibles y que la experiencia dará mejor dominio sobre el aparato y un alambrado más depurado y original (o personal).

Las variaciones comerciales presentan posibles alternativas de los diferentes fabricantes del mismo tipo de módulo. En general, son fácilmente imaginables y de sencilla comprensión. En los casos extraños, se explica brevemente la variación.

En términos generales, las explicaciones sobre los módulos se van reduciendo cada vez más, y al final son meras sinopsis, esto lo considero didáctico, pues el esfuerzo de atención se mantiene constante y se obliga al lector a comprender en pocas palabras (los instructivos y folletos de los productos comerciales son positivamente escuetos).

El omnifón reúne características de muchos modelos comerciales

Para finalizar, deseo advertir que el sintetizador ideal —omnifón— que aquí presento, tiene sólo fines didácticos y cada módulo realiza una sola y única función operativa. Con ello se comprende el módulo y se progresa lógicamente. Al final del capítulo se estará familiarizado con todas las funciones que puede realizar un sintetizador electrónico moderno, y se asimilarán con facilidad los módulos comerciales que realizan funciones múltiples. Aunque el omnifón reune características de muchos instrumentos que existen a la venta, hay cierta familiaridad con la estructura del equipo de Buchla, pues lo considero uno de los sistemas más completos y evolucionados en el mercado actual y a pesar de ello, de los más sencillos de operar.

6A. Generación

Los módulos productores de sonido

Principio: Todo cuerpo al vibrar y ponerse en contacto con el aire produce sonido si su frecuencia de vibración está entre 16 hz., y 16,000 hz. Si la vibración es regular y se le puede identificar con precisión por cierta altura o frecuencia, decimos que se trata de un sonido. Si no llena este requisito, se trata de un ruido. El omnifón contiene los generadores siguientes:

a) Generador de onda senoide.
b) Generador de onda triangular.
c) Generador de onda rampa.
d) Generador de onda cuadrada.
e) Generador de onda pulso.

Todos ellos agrupados en un módulo llamado oscilador.

f) Generador de ruidos blanco y rosa en un mismo módulo, llamado Ruidor.

Conceptos acústicos de las vibraciones, para los sonidos y

La onda senoidal es la onda básica, sin ninguna reducción posible, que representa el elemento base de todas las demás ondas complejas sea cual fuere su forma, entrando como componente de ellas. La onda rampa consta de una senoide fundamental, que determina su altura, y toda una serie de senoides, llamadas armónicas, en múltiplos exactos de la fundamental (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, etc.) hasta el infinito (siempre y cuando sea una rampa perfecta). La onda cuadrada consta de la senoide fundamental y todas las armónicas impares (3, 5, 7, 9, etc.). La onda triangular contiene su fundamental y las mismas armónicas que la cuadrada, pero en una relación menor de intensidad. La onda pulso contiene diferentes combinaciones de armónicas, dependiendo de su forma y el ancho del pulso.

los ruidos

El ruido blanco contiene todas las frecuencias posibles existentes entre 5 y 20,000 hz., distribuidas en forma uniforme y con igual contenido de energía sonora por ancho de banda, es decir que existirá la misma energía entre 100 y 1,000 hz. (900 hz.) que entre 5,100 y 6,000 hz. (900 hz.). Por esta razón este ruido tiene más bien un registro alto, pues la energía se concentra en los agudos.

El ruido rosa también contiene todas las frecuencias entre 5 y 20,000 hz., pero contiene la misma energía por octava, y puesto que el mayor número de octavas está en la parte baja de las frecuencias audibles, su sonido tiene más bien un registro bajo, ya que habrá la misma energía entre 100 y 200 hz. (1 octava), que entre 5,000 y 10,000 hz. (1 octava), por ejemplo.

Es un generador de cuatro ondas

Nombre: Oscilador.
Grupo: Generación.
Función: Genera ondas senoidal, triangular, rampa y cuadrada (convertible a pulso), en el rango de 5 hz. a 20 Khz. Es posible operarlo internamente en su frecuencia por medio de una perilla, o externamente por medio de voltajes de control. Las ondas producidas pueden ser moduladas en frecuencia.

Controles: Entradas: Una para la onda moduladora y otra para el voltaje de control de la frecuencia o altura.

Operación: La intensidad de la onda moduladora puede ser variada desde 0% de la modulación, hasta el 100% o máxima modulación, por medio de la perilla "modulación". La frecuencia puede ser controlada en forma manual mediante la perilla de frecuencia, o por medio de voltajes de control pr›cedentes de los módulos que los proporcionan. Al conectarse la entrada de voltaje de control, queda anulada la perilla de control manual.

Puede controlarse en forma manual o automática

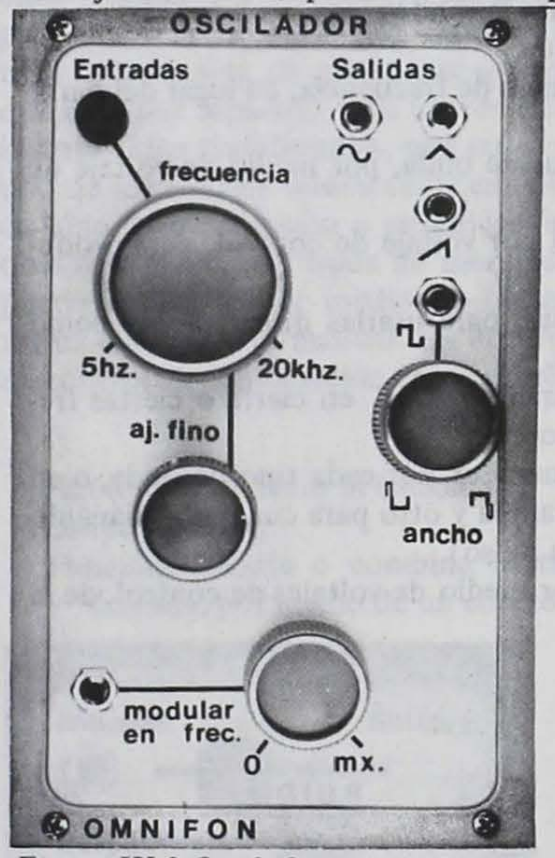


Figura IV.9 Oscilador.

Aproximadamente cada volt de variación en el voltaje de control que llega de otro módulo, causará una octava de diferencia en la frecuencia. El ajuste fino de la frecuencia se hace mediante una perilla adicional y sólo en la operación manual. El ancho de la onda cuadrada, puede ser regulado con la perilla "ancho", desde el pulso predominantemente positivo hasta el predominante negativo (o si se prefiere, desde el régimen 0°/o hasta el 100°/o positivo), pasando por todos los valores intermedios. (Al centro será una onda cuadrada perfecta: 50°/o de régimen).

Ajuste de la frecuencia

Ajuste de la onda cuadrada

alidas: Cada una de las cuatro salidas proporcionan las cuatro ondas básicas, una por salida. Todas las salidas son al mismo nivel o sea a un nivel fijo, no regulable.

Conexiones tipo: Siendo este generador uno de los módulos fundamentales en todo sintetizador, es natural que sus posibilidades de conexión sean múltiples y sólo anotaremos las más comunes y usuales.

a) Control de la intensidad: llevar las salidas de las ondas a las entradas de los mezcladores.

b) Modificación del timbre: llevar las salidas a los filtros.

c) Modular a otra onda: llevar las salidas a las entradas de otros osciladores.

d) Afectarlo de una envolvente: llevar a la entrada del envolvedor.

e) Si se desean ondas puras: llevar a los amplificadores en forma directa.

f) Si se desea reverberar: llevar a las entradas del reverberador.

g) Si se desea variar su frecuencia en forma remota: conectar a su

entrada de voltaje de control, las salidas del teclado, cinta, secuenciador, etcétera.

h) Si se desea modular: conectar la salida de otro oscilador a la entrada "modulación" y graduar a voluntad el nivel de modulación con la perilla, de cero a máximo.

Desde luego que la experiencia llevará a "inventar" conexiones insólitas que den efectos nuevos y especiales.

Variaciones comerciales: Este módulo se presenta comercialmente en formas muy variadas, de las cuales seleccionamos algunas:

a) Con control de volumen para las ondas.

b) Con modulación de amplitud.

c) Con varios pasos para el rango de frecuencia, en lugar del barrido continuo.

d) Con variación de las formas de onda, por medio de voltaje de control.

e) Con controles de amplitud por voltaje de control, para producir envolventes directamente.

f) Con muy bajas frecuencias, para usarlas directamente como envolventes en otros módulos.

g) Con sincronía de onda, para "amarrar" en cierta o ciertas frecuencias, uno o varios osciladores.

h) En forma separada: un generador por cada tipo de onda, o en forma doble: uno para seno-rampa y otro para cuadrada-triángulo (con la cuadrada convertible a pulso).

i) Con variación manual y por medio de voltajes de control, de la forma de onda.

Generador de ruido blanco y rosa

Nombre: Ruidor.

Grupo: Generación.

Función: Genera ruido en sus dos calidades principales: uno con distribución uniforme de frecuencias entre 5 y 20,000 hz. (blanco) y el otro con distribución uniforme de potencia en el mismo rango (rosa).

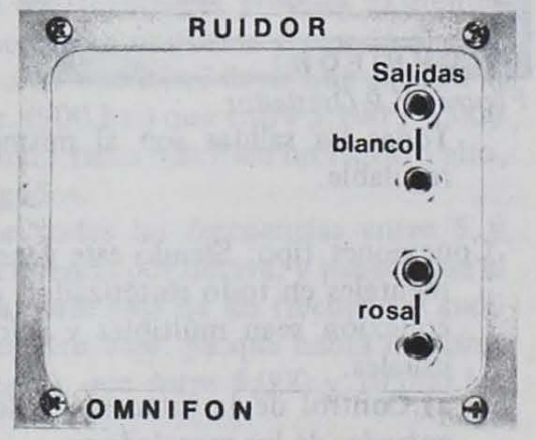


Figura IV.10 Ruidor.

Controles: Sólo dos salidas arregladas en pares, una para el ruido blanco y la otra para el rosa.

Conexiones tipo: a) Para obtener ruido de color, conectar a los filtros.

b) Como modulador: llevar a modular a los moduladores de onda, (el efecto es similar al filtrado).

c) Modificación de intensidad: llevar a un mezclador, donde se puede mezclar también con otro material sonoro.

Variaciones comerciales: a) con control de volumen.

b) Con mezcla de ambos ruidos y salida mezclada.
c) En tres calidades: predominantemente grave (rosa), predominantemente agudo (azul) y completamente plano o uniforme (blanco).

6B. Mezcla

En la mezcla no se pierden las características individuales de los sonidos mezclados

La mezcla de sonidos consiste en tomar muestras de cierta intensidad de ellos (regulable a voluntad) y agruparlos en un todo que conservará la proporción deseada de cada uno de ellos, pero sin perder sus características individuales, de modo que si se escuchan todos a la vez, es posible discernir por separado cada uno de ellos, al igual que en un conjunto de instrumentos tradicionales, que no es sino una mezcla acústica. Cuando uno de los sonidos interacciona con otro u otros, ya no se trata de mezcla sino de modulación o modificación y esto se verá adelante. Nuestro omnifón posee dos tipos de mezcladores. En uno de ellos la mezcla puede realizarse por medio de cursores o controles de volumen, en forma enteramente manual. En el otro se realiza por medio de voltajes de control en combinación con cursores manuales.

Mezclador hasta de diez sonidos

Nombre: Mezclador M (manual).
Grupo: Mezcla.
Función: Mezcla o combina hasta diez sonidos, en la proporción deseada, por medio de un control de volumen para cada sonido.

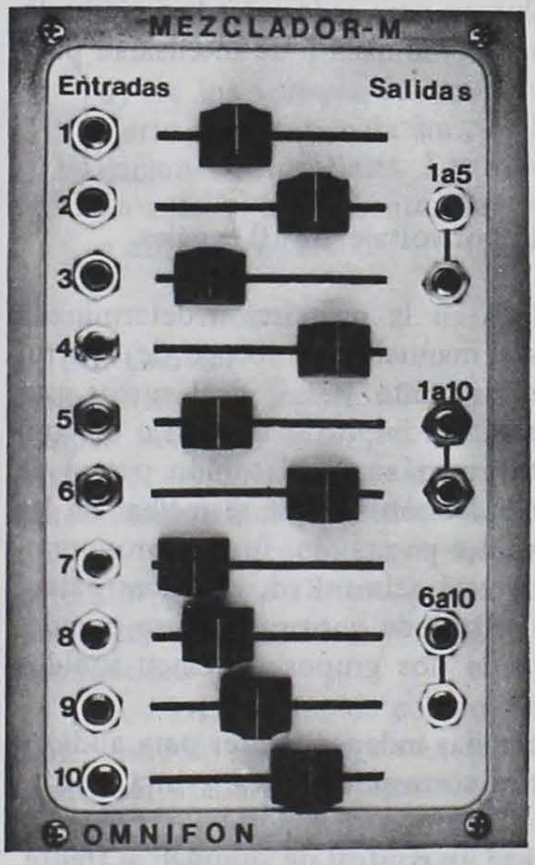


Figura IV.11 Mezclador M.

La salida puede ser para la totalidad de los sonidos o bien en dos grupos de los sonidos 1 al 5 y del 6 al 10, ya que este mezclador es en realidad, un par de mezcladores idénticos de 5 canales cada uno, con salidas separadas y comunes.

Controles: Entradas, se dispone de 10 entradas independientes, una para cada uno de los sonidos que se desean mezclar.

Operación: Cada entrada de las anteriores tiene a su derecha un control de volumen (cursor) para graduar de cero a máximo la intensidad de cada una de las ondas que se desean mezclar. Con el cursor a la izquierda, la onda correspondiente será atenuada totalmente a la salida, a la

derecha, pasará con la misma intensidad que entró y en posiciones intermedias, serán los valores proporcionales.

Tiene tres salidas

Salidas: Existen tres salidas en pares comunes: una para las ondas que entraron del 1 al 5, otra para las del 6 al 10 y la última para la totalidad o sea del 1 al 10. Las salidas tendrán la intensidad de las ondas mezcladas, conforme a la posición de cada uno de los cursores correspondientes.

Conexiones tipo: Normalmente un grupo de sonidos llega a las entradas, y la mezcla (salida) es llevada a procesarse a otros módulos o a la salida final de amplificación.

a) La mezcla puede llevarse a reverberar.

b) Puede ser filtrada.

c) Puede llevarse a modular a los osciladores.

d) Se puede amplificar directamente.

e) El módulo puede usarse para atenuar un sonido simultáneamente al refuerzo de otro, es decir, un sonido sale suavemente mientras otro entra suavemente, hasta sustituir al primero (*fade-in, fade-out*).

f) La salida puede ser afectada por una envolvente, llevándola al envolvedor. La envolvente afectará al conjunto.

Variaciones comerciales:

a) Con perillas en vez de cursores.

b) Con limitador para sobrecarga (debe recordarse que entran hasta diez señales y la intensidad en la salida, puede ser excesiva).

c) Con amplificación y mezcla combinadas.

d) Con varios controles de volumen para cada entrada a modo de obtener a la salida, más de una combinación de intensidad para cierto sonido o grupo de ellos.

Mezclador automático hasta de diez sonidos

Nombre: Mezclador V, controlado por voltaje, de 10 canales.

Grupo: Mezcla.

Función: Mezcla hasta 10 sonidos en la proporción determinada por la combinación del cursor manual y el voltaje de control recibido en la entrada correspondiente y así, si el cursor está en mínimo, el sonido no pasará sin importar el voltaje de control recibido. Si el cursor está en máximo, el sonido pasará de acuerdo con el valor del voltaje del control que se reciba. En las posiciones intermedias el sonido pasará en forma proporcional, por ejemplo, si el cursor está a la mitad, entonces pasará sólo la mitad de lo que el voltaje de control hubiese pasado. Es posible obtener la mezcla de dos grupos de cinco sonidos y de la totalidad.

Controles: Entradas, tiene 10 entradas independientes para audio y diez para los voltajes de control correspondientes, y una junto a la otra.

Operación: Para cada entrada existe un control de volumen al frente, que graduará de cero a máximo, la intensidad de cada una de las

ondas por mezclar. La posición del cursor se combinará con el voltaje de control que se reciba en su entrada.

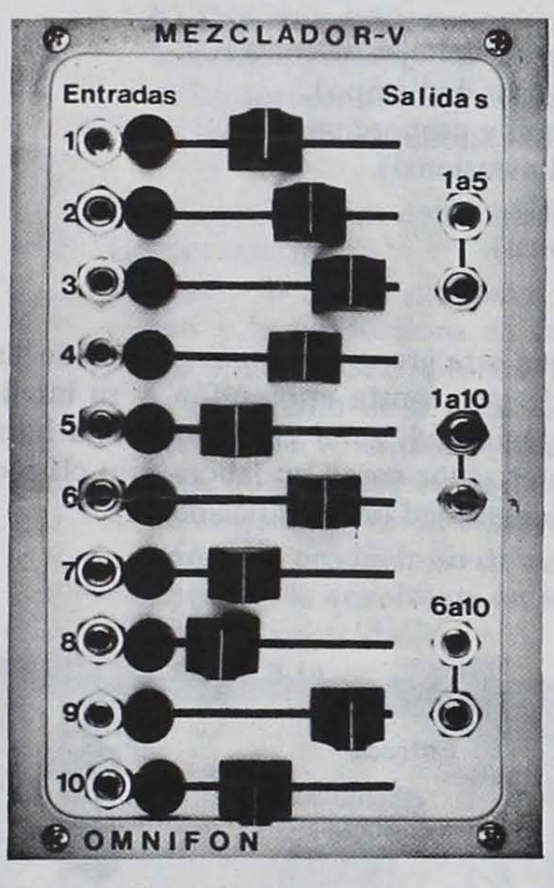


Figura IV.12 Mezclador V.

Tiene 3 salidas

Salidas: Tres pares de receptáculos, uno para los sonidos que entraron en las bocas 1 a 5, el otro para la totalidad o sea, 1 al 10 y el último para los sonidos 6 a 10.

Conexiones tipo: Las mismas que en el mezclador manual, pero en adición, las del voltaje de control:

a) Si provienen del integrador de envolventes, trabajará como envolvedor en la entrada que se conecte.

b) Si del extractor de envolvente, trabajará modulando en amplitud el sonido de la entrada correspondiente. (Trémolo si es de baja frecuencia).

c) De cualquier fuente de voltaje de control, y solo saldrá sonido al haber voltajes, en la intensidad determinada por este último y la posición del cursor.

d) De los voltajes de control del secuenciador, para imponer un cierto ritmo (en la dinámica o intensidad) a algún material sonoro.

Variaciones comerciales: Las mismas que en el mezclador manual y en adición lo referente a los voltajes de control, con interruptores a cada entrada.

6C. Control

Los voltajes de control y los mecanismos que los producen

Hemos visto con anterioridad que el punto fuerte del sintetizador electrónico moderno es su operación a base de voltajes de control, como sustituto –y en adición– a la forma manual. Los voltajes de control determinan las características de operación de los módulos a que se aplican, y así tenemos por ejemplo: el control de frecuencia en un oscilador puede ser manual con su perilla, pero también por medio de un voltaje de control, proveniente de otro módulo especializado en su producción.

Todos los voltajes de control del omnifón son compatibles, y cualquier módulo que tenga una salida productora de voltajes de control podrá ser usada para operar a cualquier módulo que tenga una entrada receptora de voltajes de control. Ya se verá que la utilización de éstos, cada vez que sea posible, hará la operación del omnifón más rápida y versátil.

Los módulos para la generación y proceso de los voltajes de control son los siguientes:

a) Aleator (emisor de voltajes de control aleatorios).
b) Extractor de envolvente.
c) Conversor V, o procesador de voltajes de control.
d) Pulsador (generador de pulsos de tiempo).
e) Testigo (muestrea, almacena y proporciona).
f) Control X-Y (control bi-dimensional).
g) Banda (control táctil lineal).
h) Teclado (teclado tradicional).
i) Control táctil (múltiple).
j) Secuenciador.

Es el grupo mayor de módulos del omnifón

Puede fácilmente observarse que este grupo es el más nutrido de las diferentes familias de módulos de que consta el omnifón, y su inteligente utilización es toda una especialidad, a tal grado, que ésta hará la diferencia entre trabajar al sintetizador como un laboratorio clásico (manualmente), o en su plena potencialidad (automáticamente).

Emite voltajes de control impredecibles

Nombre: Aleator.
Grupo: Control.
Función: El aleator es un emisor de voltajes de control en forma totalmente aleatoria, de tal modo que es impredecible el valor de los voltajes emitidos. Cada vez que recibe un pulso en la boca de entrada, emite un voltaje de control por la boca de salida y lo mantiene indefinidamente hasta que vuelve a recibir otro pulso de entrada. Los voltajes de control emitidos son enteramente aleatorios y sin ninguna relación con los anteriores o posteriores.

Figura IV.13 Aleator.

Sólo tiene salidas

Controles: No tiene ninguno, sólo una entrada y un par común de salidas.
Conexiones tipo: a) Para producir sonidos con alturas al azar, conectar a los osciladores.
b) Para control del timbre en forma aleatoria, conectar a los filtros controlados por voltaje.
c) Para control de la intensidad (también al azar), conectar a los mezcladores.
d) Cualquier emisor de pulsos de tiempo puede ser conectado a su entrada.
Variaciones comerciales:
a) Con controles para la relación de cambio entre un voltaje y otro, es decir, con posibilidad de limitar hacia arriba y hacia abajo los voltajes que aparecen, sin eliminación de su aleatorie-

dad (nuestro módulo varía de 0 volts a 15 volts y también es posible lograr esta limitación en unión con el conversor V, que veremos adelante).

b) Con dos salidas: una con variaciones estrechas, es decir, con intervalos pequeños de variación, y otra con variación amplia.

c) En versión doble y triple, o sea módulos que constan de dos y de tres unidades totalmente independientes.

Nombre: Extractor de envolvente.

Convierte la amplitud de una onda en voltaje de control

Grupo: control.

Función: Al recibir una señal de audio o sonido, le extrae su amplitud y la proporciona en las salidas como un voltaje de control. En otras palabras, produce un voltaje de control que es réplica de la envolvente de la onda recibida. La señal de entrada puede ser atenuada a voluntad, de modo de producir voltajes de salida variables, que siempre serán proporcionales a la envolvente de la onda de entrada, pero en límites más estrechos. Tiene también provisión para producir un decaimiento en los voltajes de salida, "suavizando" la envolvente en los cambios abruptos de nivel que ocurran en la entrada.

Figura IV.14 Extractor de envolvente.

Finalmente, proporciona pulsos de salida en los niveles (variables) seleccionados por la perilla "nivel pulso", esto quiere deicr que puede emitir pulsos cuando el material sonoro llegue a los máximos unicamente, en valores intermedios, o casi constantemente si se lleva al mínimo de intensidad.

Controles: Un control de sensibilidad. Si está en cero, la salida será nula, independientemente de la entrada. Si está en máximos, el voltaje de salida será igual al de la envolvente de la onda de entrada. En las posiciones intermedias, la atenuación será proporcional. Un control de decaimiento, el cual en cero dará la salida idéntica a la envolvente de la entrada, si en máximo producirá un decaimiento en el voltaje de salida de 5 segundos (como un regulador de disminución de esta duración). En posiciones intermedias, el decaimiento será proporcional a la posición de la perilla.

Un control para el nivel de los pulsos de salida: si en mínimo, se emitirán pulsos casi constantemente, excepto en los silencios

y niveles muy bajos. Si en máximo, sólo habrá pulsos en los fortíssimos. En posiciones intermedias, en forma proporcional.

Por supuesto que los pulsos de salida dependerán también del material sonoro de entrada y su intensidad.

Conexiones tipo: a) Para producir envolventes iguales a la de los sonidos que entran a este módulo, llevar al mezclador V.

b) Para producir envolventes suavizadas en el decaimiento, igual que a), pero con el decaimiento deseado.

c) Para controlar otros eventos sonoros en función de la envolvente, llevar la salida a los módulos deseados: filtros, secuenciador, etcétera.

Para producir frecuencias proporcionales a la intensidad (los pianíssimos daran graves, los fortíssimos: agudos; y sus valores intermedios) llevar la salida a los osciladores.

Variaciones comerciales:

a) Con selección de salida de voltaje lineal (igual a la envolvente de entrada), o exponencial, para aumentar los rangos dinámicos de los sonidos.

b) Con inversión del voltaje de salida (a mayor valor de la envolvente menor voltaje y viceversa).

c) Con transposición controlada del voltaje de salida.

d) Con inclusión de un seguidor de frecuencia.

e) En versión doble y triple.

Es un mezclador algebráico (de valores positivos y negativos) de los voltajes de control

Nombre: Conversor V (Convertidor o procesador de voltajes de control).

Grupo: Control.

Función: Permite que una, dos o tres entradas de voltajes de control sean combinadas, transportadas y/o atenuadas, y que la combinación resultante sea aún afectada, mediante la mezcla con un generador interno de voltajes de control. Sin voltajes de entrada, puede usarse como una fuente manual de voltajes de control.

Controles: Un control de intensidad para cada entrada permite tomar la totalidad o una fracción del voltaje de llegada, en función de su perilla de atenuación. Los voltajes recibidos de uno a tres, son mezclados primero en la proporción de sus perillas, y después con

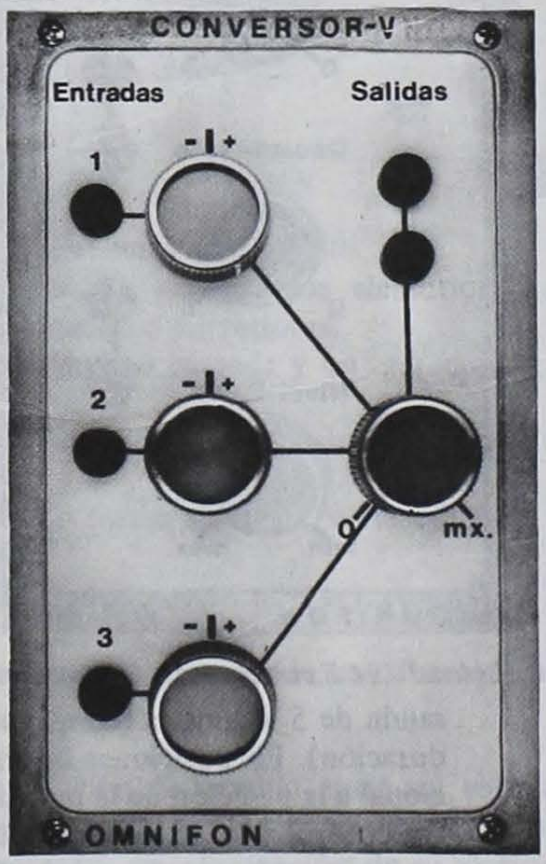


Figura IV.15 Conversor-V.

un generador interno de voltajes de control (perilla central derecha), obteniéndose a la salida, la combinación de toda esta mezcla.

Si no hay voltajes de entrada, a la salida se tendrá el voltaje de control según la posición de la perilla del generador interno (perilla central derecha).

Conexiones tipo: a) Para limitar a voluntad las variaciones de la fuente de voltajes aleatorios: la salida de éste se trae a una de las entradas de este módulo, y con la mezcla con el generador interno se logrará el control deseado.

b) Para transportar un cierto voltaje de control, también por mezcla con el generador interno, será transpuesto a voluntad.

c) Para producir acordes: la salida transpuesta y la original se llevan a los osciladores y se hacen sonar ambas, la separación de altura entre ellas será siempre igual.

Variaciones comerciales:

a) Mixto, para voltajes de control y sonidos, usado de hecho como un mezclador.

b) Con amplificación de los voltajes.

c) Con una entrada que invierte el voltaje recibido.

d) Con dos entradas y también con más de tres.

e) En versión múltiple, o sea más de una unidad por módulo.

Proporciona pulsos programados automáticamente

Nombre: Pulsador (generador de pulsos de tiempo).

Grupo: Control.

Función: Este módulo es esencialmente usado para operaciones automáticas y principalmente en conjunción con el secuenciador. Produce pulsos de tiempo en forma repetitiva y con la duración fijada por el operador. Puede producirlos también en forma manual o con control externo. Posee un reloj interno para proporcionar los pulsos con repetición controlada y medida. Puede operarse en forma remota para el inicio y fin de ciertos eventos.

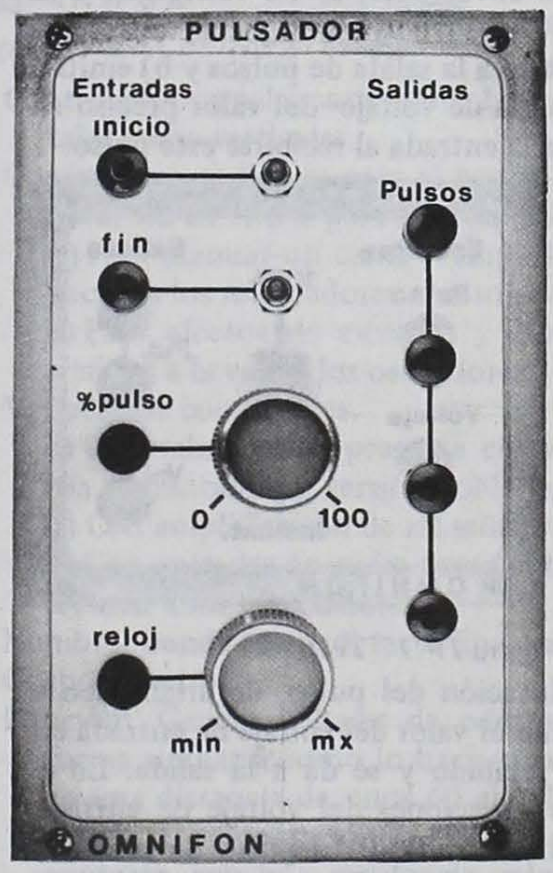


Figura IV.16 Pulsador.

ontroles: Un botón para iniciar la emisión de pulsos manualmente y otro para detenerlos. Una perilla para fijar el porcierto de régimen de los pulsos que se emiten, de 0 a 100%. Una perilla para regular el tiempo del reloj, desde 5 milésimas de segundo hasta 20 segundos entre pulsos

emitidos. Los controles anteriores se desactivan al introducir en sus receptáculos algún control externo.

Conexiones: a) La más común es para activar al secuenciador.
b) Para el emisor de voltajes al azar o aleator.
c) Salidas de los teclados a la entrada de inicio y fin, para el control de arranque y parada de alguna función musical, por ejemplo el secuenciador.
d) De la salida del aleator al reloj, para producir secuencias o pulsos aleatorios.
e) Del secuenciador a la entrada de %, para controlar envolventes.
f) Del secuenciador al reloj, para producir ritmos programados.

Variaciones comerciales:
a) Incorporado a otro módulo, normalmente a un secuenciador.
b) Con ajuste fino del reloj interno.
c) Con controles manuales para emisión de pulsos.
d) Con salidas de voltajes de control y sonidos y aún envolventes, en adición a los pulsos.

Es, de hecho, una memoria de tipo analógico

Nombre: Testigo (prueba y guarda, en inglés: *sample and hold*).

Grupo: Control.

Función: Los testigos son esencialmente memorias analógicas, y se usan para "recordar" valores de amplitud de los voltajes de control recibidos en su entrada y así, supongamos que un voltaje variable de control, p.e.: una envolvente, se ha conectado a la entrada. Al recibir un pulso en su entrada especial, dos cosas sucederán: a) se emitirá un pulso a la salida de pulsos y b) emitirá un voltaje de control en la salida de voltaje del valor preciso en que se hallaba la envolvente de la entrada al recibirse este pulso. Este voltaje permanecerá en la salida hasta recibirse el siguiente pulso para volver a "probar". Lo anterior funciona con la posición de duración del pulso en instantáneo. Si está en 100%, el voltaje de salida seguirá al de entrada, con todas sus variaciones y valores y por toda la duración del pulso de entrada.

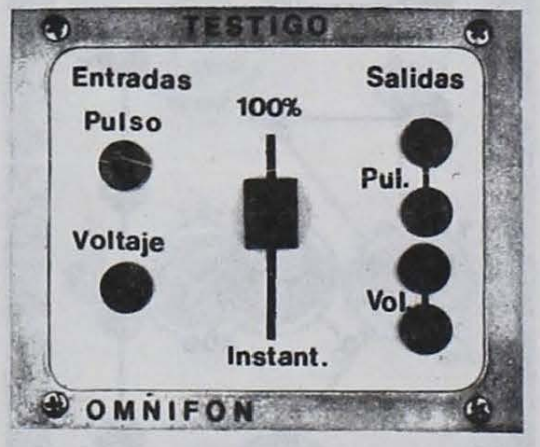


Figura IV.17 Testigo.

Controles: Un control para la duración del pulso, de intantáneo a 100%. En instantáneo, se toma el valor del voltaje de entrada en el preciso instante del pulso recibido y se da a la salida. En el 100% se darán a la salida las variaciones del voltaje de entrada por toda la duración del pulso recibido. El pulso de la salida también durará este lapso, y el voltaje final en la salida, será el que existía al término del pulso de entrada.

Conexiones: a) Al envolvedor, para generar nuevas envolventes, con variaciones controladas a voluntad.
b) Para convertir un glissando en arpegio, conectar a algún oscilador.
c) Para emitir notas en ciertos valores de intensidad, también al oscilador.

Variaciones comerciales:
a) Con amplificación de las salidas.
b) Con generador interno (variable) de pulsos.
c) Con entrada de audio.
d) Con oscilador y/o ruidor.
e) Con retraso en las salidas, para producir efectos de canon.
f) En combinación con otros módulos.

Nombre: Control X-Y. (control bidimensional).

Permite el control de dos voltajes en forma simultánea

Grupo: Control.

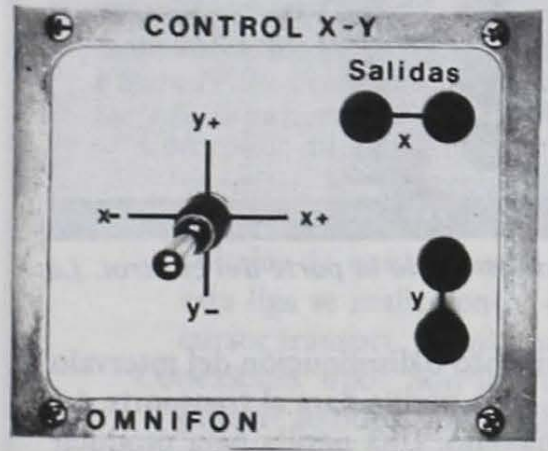


Figura IV.18 Control X-Y

Función: Genera dos voltajes de control continuamente variables según la posición de la palanca de control o batuta. El movimiento horizontal, irá del mínimo a la izquierda, al máximo a la derecha. El vertical en la forma correspondiente. Cualquier movimiento combinado, dará los valores proporcionales en las bocas X y Y.

Controles: Una palanca de control para las variaciones, tanto horizontales como verticales.

Conexiones: a) Se usa para el control espacial de los sonidos de una obra, sea en vivo o para su grabación.
b) Para atenuar un canal y amplificar otro (*fade-in, fade-out*), conectar a los mezcladores controlados a voltaje.
c) Para efectos de ascensos y descensos de frecuencia para dos sonidos a la vez: a los osciladores.

Variaciones comerciales:
a) Generalmente se presenta en versión múltiple para estereofonía y cuadrafonía, versión doble y cuadruple respectivamente.
b) Con amplificación de las señales de entrada.
c) Con entradas de audio para control directo de la intensidad, sin recurrir a los mezcladores.

Nombre: Banda (control táctil lineal o banda restirada).

Genera voltajes de control proporcionales a la distancia

Grupo: Control.

Función: Genera voltajes de control continuamente variables, en forma similar a como lo haría una perilla, pero en forma lineal y en una distancia de unos 60 cm., lo que permite precisión y velocidad en su operación. Al oprimir la banda hacia abajo, se hace contacto con una resistencia colocada en la base y se cierra el circuito. El voltaje de salida será proporcional a la posición ho-

rizontal del dedo sobre la banda. Es posible también, cambiar la variación entre los extremos de la banda, desde una fracción de semitono, hasta más de cinco octavas (en el caso de aplicarlo a variaciones de frecuencia). Los valores de voltaje, permiten ser transportados a valores superiores o inferiores y también en forma ligada, entre un valor a otro (portamento si se aplica a frecuencias), o en valores instantáneos individuales (staccatos, si en frecuencia). Cada vez que se apoya el dedo, un pulso de control es emitido a la salida en forma simultánea al voltaje de control.

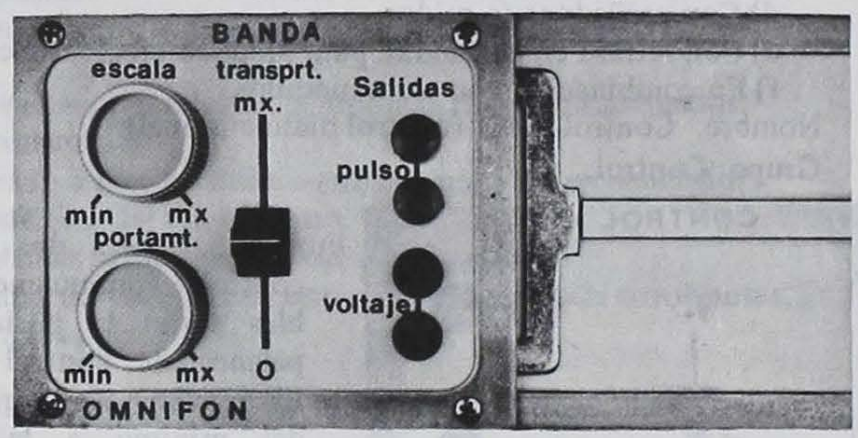


Figura IV.19 Banda restirada. Se muestra sólo la parte del control. La banda se extiende a la derecha.

Controles: Una perilla para el incremento o disminución del intervalo entre los extremos de la banda. Una perilla para el transporte del voltaje de control, de cero a máximo. Una perilla para producir diferentes grados de portamento, o eliminación del mismo. La banda restirada, que es el control medular de este módulo.

Conexiones: a) Producción sonora con envolventes: la salida de voltaje a los osciladores, el pulso al integrador de envolvente. Control de la intensidad de sonidos: al mezclador controlado a voltaje. Control del timbre en forma dinámica: a los filtros controlados a voltaje.

Variaciones comerciales: Como el efecto "portamento" en el teclado tradicional que veremos adelante, permite efectos similares a los de esta banda, aparentemente sólo un fabricante (Moog) comercializa este módulo.

Genera voltajes de control en pasos iguales y variables por control

Nombre: Teclado (teclado tradicional).

Grupo: Control.

Función: Es un teclado tradicional de 5 octavas, para seleccionar cada vez uno de 60 voltajes diferentes, igualmente espaciados, pero uno solo a la vez (monofónico). Si se oprimen dos o más teclas, sólo aparecerá a la salida el valor de voltaje de control de la inferior. Puede ser ajustado (afinado) en la escala temperada si se va a usar para producir sonidos. Cada vez que se oprime una tecla aparece un pulso a la salida. Una perilla permite glissandos o portamento (con tiempos variables) entre las diferentes teclas (si se aplica a sonidos), desde cero hasta unos 5 segundos de duración. Es posible ampliar o reducir el intervalo del teclado

completo desde menos de un semitono hasta unas 10 octavas. Es posible también transportar los voltajes producidos (transporte en la altura si se aplica a sonidos). Al soltar una tecla, el voltaje continuará emitiéndose hasta que no se apriete otra.

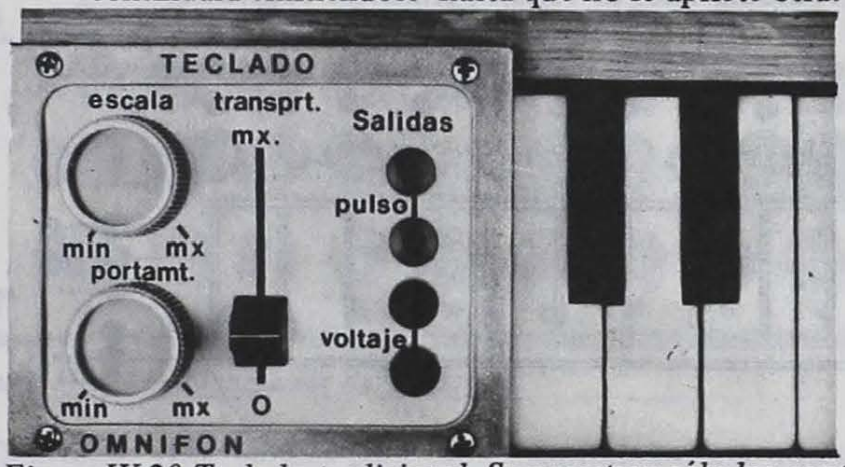


Figura IV.20 Teclado tradicional. Se muestran sólo los controles, el teclado se extiende 5 octavas.

Controles: El control principal es el teclado, a la izquierda se encuentran los controles. La perilla escala, amplía o disminuye los intervalos entre teclas. La perilla portamento permite que los voltajes de control entre teclas queden ligados suavemente, y que esta liga se realice entre cero (staccato) hasta unos 5 segundos. El cursor transprt. permite subir o bajar el voltaje de las teclas.

Conexiones tipo: Son las mismas que para la banda restirada, para generar sonidos, controlar intensidades, timbre, etcétera.

Variaciones comerciales:

a) Desde 1 hasta 5 octavas.
b) Con teclado simple y hasta 5 teclados.
c) En versión polifónica.
d) Con afinación en cada tecla por separado.
e) Como sintetizador especializado: cuerdas, cuerdas y bajo, metales y cuerdas, piano y clave, percusión y piano. Todas con su sintetizador integrado.

Proporciona voltajes y pulsos al tacto

Nombre: Control táctil (múltiple).

Grupo: Control.

Función: Este módulo está formado por dos controles sensibles al tacto. En la parte media se encuentra un teclado de 12 teclas con salidas individuales para cada tecla de su voltaje de control y pulso, más una salida común para todas las teclas, de los voltajes (según las perillas), voltaje dependiente de la presión del dedo sobre la tecla y pulsos. En la parte inferior, un control similar a la banda, es decir: una tecla única e inmóvil sensible al tacto y que emite un voltaje de control proporcional a la distancia de izquierda (mínimo) a derecha (máximo); sus salidas son: un voltaje de control proporcional a la distancia, otro proporcional a la presión del dedo sobre la tecla y los pulsos cada vez que se toca. Las perillas del primer teclado funcionan por la diferencia entre la posición de la perilla y el máximo, si la perilla está en máximo,

la tecla no tiene control y al tocarla saldrá este máximo en la salida de voltaje, en mínimo la tecla tiene el control absoluto y en posiciones medias, controlará la diferencia. Cuando un dedo se levanta, el último valor de voltaje permanece constante.

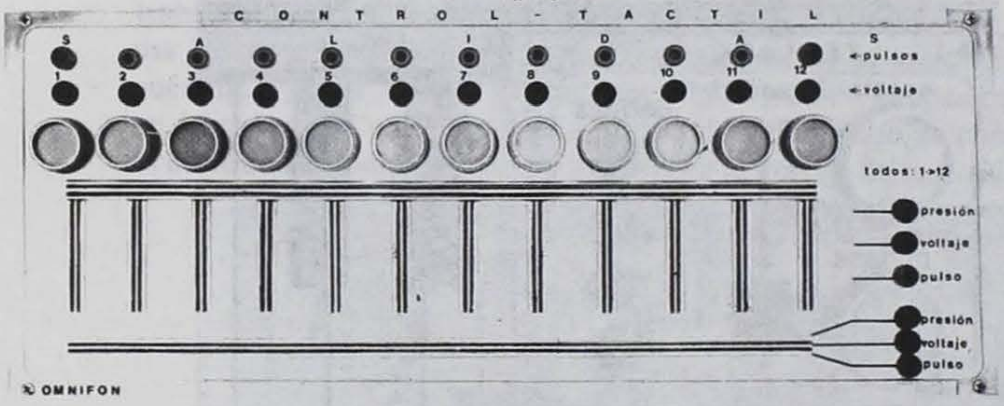


Figura IV.21 Control táctil múltiple.

Controles: No tiene entradas. Los dos teclados descritos (el teclado medio, con perillas de control para cada tecla, que controlan un voltaje fijo de control proporcional al giro de la perilla: si en min., la tecla controla todo el voltaje, si en máx., la salida será el voltaje máximo, con sus valores intermedios).

Conexiones: Con los voltajes de control de salida se puede manejar cualquier elemento musical: altura, intensidad, timbre, etc. Con los pulsos, igual que el teclado y la banda restirada.

Variaciones comerciales:

a) Cada tipo de teclado por separado.
b) Incorporado a un secuenciador.
c) Con diferente número de teclas.

Es un generador de voltaje programado

Nombre: Secuenciador.

Grupo: Control.

Función: Produce una secuencia repetitiva de dos a 10 voltajes de control, simultáneamente con sus pulsos de tiempo. Esta programación puede realizarse mediante perillas en tres diferentes arreglos. Una luz indica cual grupo de tres voltajes de control (según las posiciones de las perillas) está siendo generado en ese momento. La posición de las perillas indica el voltaje de control a la salida, situada en la extrema izquierda, una por cada fila de perillas. El voltaje será el de la perilla cuya luz esté encendida. El módulo puede funcionar en dos formas: a) recibiendo pulsos en la entrada (pulsos), y en este caso con cada pulso avanzará un paso en forma secuencial, lento o rápido, conforme a la frecuencia de éstos. Los interruptores al pie de las perillas, determinan el número de pasos de avance. Al desconectar cualquiera, la secuencia llegará allí y regresará al inicio. La otra forma de operación consiste en conectar un voltaje de control en la entrada de voltaje, y el valor de éste determinará el paso activado, cero volts

ningún paso activado; máximo, activa el paso 10 y valores intermedios, pasos intermedios.

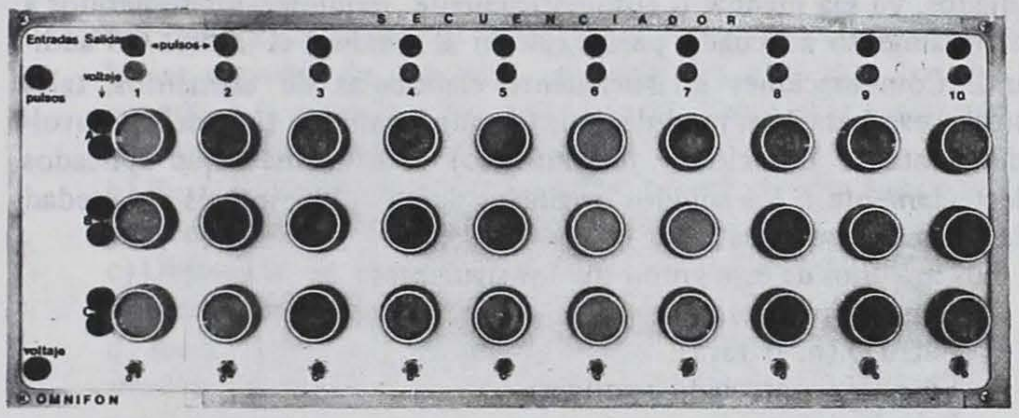


Figura IV.22 Secuenciador de 10 pasos.

Controles: Diez perillas para cada uno de los arreglos secuenciales. La posición de cada perilla determina el voltaje de control de la salida para ese paso y en esa hilera de perillas. Una entrada para los pulsos de avance, y una para el voltaje de selección de paso. Salidas individuales para los pulsos de cada paso, situadas arriba y junto a la luz de indicación de operación de ellos, y otra para los voltajes de control común al total de cada hilera secuencial, completan este módulo.

Conexiones: a) La entrada de pulsos viene generalmente del pulsador.

b) La entrada de voltaje puede provenir de cualquier módulo pero más comúnmente de alguna envolvente, para convertirla en una serie de valores secuenciales aplicable a la producción de notas, intensidades, etcétera.

c) Las salidas de voltaje de control se conectarán a activar sonidos (osciladores) intensidades sonoras (mezcladores) timbres (filtros, etcétera).

d) Los pulsos de salida se podrán llevar a la generación de envolventes, al inicio o fin de otras secuencias (pulsador) etcétera.

Variaciones comerciales:

a) Con diferente número de paso hasta 16

b) Con una sola hilera y salida.

c) Con posibilidad de conectar el fin de una hilera con el principio de la otra y ligar, agrandando, las secuencias existentes (en tal caso se gana en número de pasos y se pierde en voces).

d) Con marcha en reversa.

e) Con pulsador incorporado.

f) Con control táctil incorporado en cada paso de la secuencia.

g) Con entradas de pulso en cada paso para selección externa del paso de secuencia deseado.

Por ser este módulo uno de los más importantes del sintetizador ha tenido un enorme desarrollo y existen grandes variantes en el mercado, incluyendo minicomputadoras que permiten un control poderoso y versátil del sintetizador y que veremos extensamente en el capítulo de computadoras.

Alteración de los elementos básicos de los sonidos

6D. Modificación

Los sonidos que han sido generados con los módulos anteriormente estudiados, ya sea manual o automáticamente, requieren ser sometidos a un tratamiento adecuado para explotar al máximo el interés del auditorio. Combinaciones artísticamente elaboradas de elementos, tales como: reverberación, modulación, filtrado (cambios tímbricos), envolventes (ataque duración y decaimiento) y otros más, que aplicados adecuadamente a los sonidos originales darán color, interés y variedad a la música electrónica.

Los módulos de este grupo son los siguientes:

Filtro P (pasabanda).
Filtro O (de octava).
Filtro V (controlado a voltaje).
Reverberador.
Modulador anular.
Integrador de envolventes.
Envolvedor.
Cambiador f/v (convertidor de frecuencia a voltaje).

Divide a los sonidos complejos en 5 bandas de frecuencia

Nombre: Filtro-P (filtro pasabanda).
Grupo: Modificación.
Función: Descompone cualquier sonido (a condición que sea onda compleja) en cinco bandas de frecuencia. La primera banda deja pasar todos los sonidos (o armónicas de un sonido complejo) abajo de 100 hz. y hasta este valor (el símbolo< significa menor que).

La segunda banda pasa sonidos comprendidos entre 100 y 300 hz. La tercera de 300 hz. a 1 Khz. La cuarta de 1 a 4 Khz. y la quinta y final, arriba de 4 Khz. (el símbolo > significa mayor que). A las bandas indicadas se les puede asignar un corte o atenuación que puede variarse a voluntad desde suave (parte superior del cursor) hasta fuerte (parte inferior), pero en ningún caso el corte es total y absoluto a las frecuencias indicadas y las pasará, aunque atenuadas, a un lado y otro de la banda. Es posible obtener también la suma de las componentes en la salida común marcada suma (Σ).

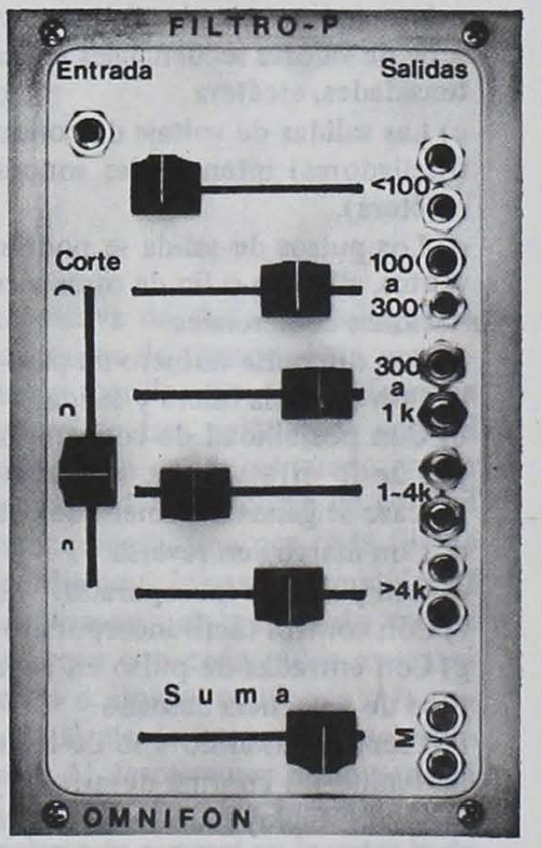


Figura IV.23 Filtro pasabanda.

Controles: Un atenuador o control de intensidad para cada banda de frecuencia y para la suma. Un selector de pendiente de corte, de suave a fuerte.

Conexiones: a)La conexión tipo es para obtener modificaciones tímbricas a partir de una onda compleja. En este caso la onda se conecta a la entrada y los controles se ajustan en la forma que se obtenga el timbre deseado a la salida.

b) Extracción de ciertas armónicas de un sonido complejo: se procede como en a) pero se atenúan las armónicas indeseables.

c) Obtención de ruido de color: se hace entrar ruido blanco y se selecciona la banda o bandas deseadas.

d) En un material sonoro con sonidos en toda la gama audible, se pueden extraer una o más bandas, alterando el timbre total del conjunto.

e) Puede usarse para eliminar ruidos siempre y cuando estén concentrados en alguna banda de frecuencia y el material sonoro lo esté en otra, por ejemplo, eliminar ruido de alta frecuencia (*hiss*) en un material predominantemente bajo (tuba, contrabajo) o eliminar ruido de baja frecuencia (*hum*) en sonidos altos (flauta, chirimía, piccolo). Debe tenerse en mente, que si el material sonoro o sus armónicas están en la banda eliminada, también serán suprimidas. Si se introduce una senoide a la entrada sólo aparecerá en la boca de salida correspondiente (quizá en otras en forma muy atenuada) y en la salida de suma, funcionando en este caso ya no como filtro sino como atenuador o control de volumen.

Variaciones comerciales: El filtro es tan importante en el omnifón como los osciladores y por ello las variaciones comerciales son innumerables y anotamos sólo las principales:

a) Con control de resonancia, amplificando los sonidos de las formantes.

b) Sin control de corte.

c) Sin salida de suma de bandas.

d) Con control de volumen en la señal de entrada.

e) Con más bandas, hasta un tercio de octava en toda la gama audible.

Divide la gama audible en diez bandas de frecuencia

Nombre: Filtro-O (de octava).

Grupo: Modificación.

Función: Es de operación similar al filtro anterior, pero tiene diez bandas de separación con intervalos de octava en toda la gama audible, desde 25 hz. (el centro de la banda) hasta 13 Khz. (el centro). Las diez bandas están centradas en los valores de frecuencia indicados en el módulo. Es posible obtener cada banda por separado, por grupos, o la suma total; con atenuación o sin ella, y también con pendientes de corte de suave a fuerte.

Controles: Un atenuador para cada banda de frecuencia y para la suma. Un selector de la pendiente de corte, para fijar el corte deseado.

Conexiones: Son las mismas que para el módulo anterior, con la variación de ser más bandas y estar relaciondas por intervalos de octava, y permitir una selección más estrecha de frecuencias.

Variaciones comerciales:

a) Sin control de corte de filtro.

b) Con control de resonancia.

c) Sin salida para la suma de las componentes.

d) Con más bandas, hasta un máximo de un tercio de octava.

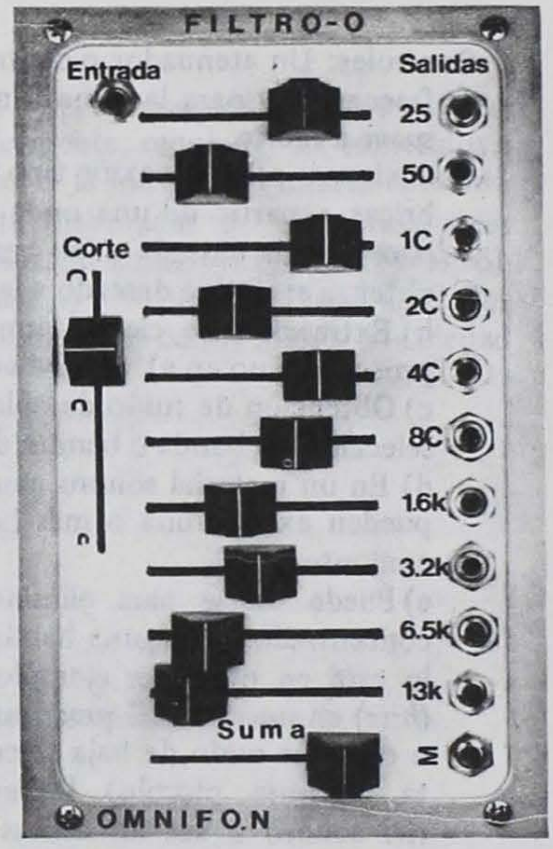


Figura IV.24 Filtro de octava.

Es un filtro de ancho y centro de banda controlados por voltaje

Nombre: Filtro-V (controlado por voltaje).

Grupo: Modificación.

Función: Similar a los anteriores: filtra o selecciona frecuencias en modo de banda baja (salida superior), banda alta (salida media) o pasabanda (salida inferior), en forma manual o controlado a voltaje. El modo depende de la salida donde se conecte. La entrada de un voltaje de control desconecta la perilla, sea la de ancho de la banda o del centro del filtro. Se tiene la facilidad de modular en frecuencia el sonido filtrado y también de alterar la pendiente del corte de los filtros.

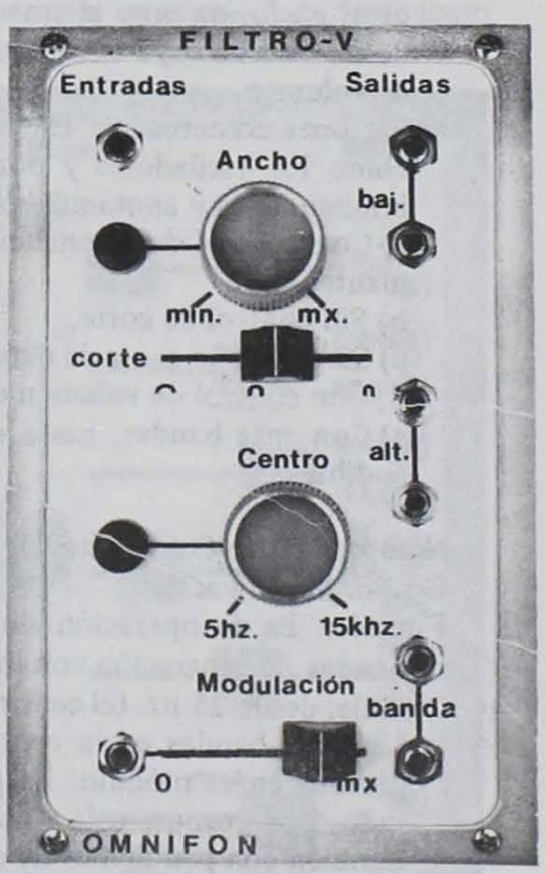


Figura IV.25 Filtro por voltaje.

Controles: Una perilla para fijar el ancho de banda, para la parte de pasabanda solamente. Otra para el centro de la banda en el pasabanda o las frecuencias de corte en las partes baja y alta. Un cursor para determinar la pendiente de corte, de suave a fuerte y otro para el control de la modulación en frecuencia.

Conexiones: Igual que en los filtros anteriores, con la diferencia de que en este módulo es posible variar el ancho de banda desde un semitono, hasta 5 octavas, aproximadamente; y también la frecuencia central (en el pasabanda) o frecuencia de corte (en los filtros alta y baja), desde unos 20 hz. hasta unos 15 Khz.

Variaciones comerciales:

a) En combinación filtro-oscilador.
b) Sin modulación de frecuencia.
c) Con control de volumen a la entrada.
d) Con la variante de supresión de banda, en adición a la pasabanda.
e) En versión múltiple.

Introduce "profundidad" a los sonidos

Nombre: Reverberador.

Grupo: Modificación.

Función: Introduce reverberación en cualquier tipo de sonido que se le introduzca. Es posible controlar la intensidad de la reverberación y también la duración de la misma, desde cero (sonido original sin afectación) hasta el máximo (aproximadamente 5 segundos). En adición, la intensidad de la reverberación puede ser controlada por voltaje en forma externa.

Figura IV.26 Reverberador.

Controles: Una perilla para graduar la intensidad de la reverberación, con su entrada correspondiente al voltaje de control. Al conectarse un voltaje externo, la perilla manual queda desconectada. La otra perrilla para el control del tiempo de reverberación completa los dos únicos controles de este módulo.

Conexiones: En términos generales la reverbeación imparte profundidad tridimensional, o espacial, a los sonidos tratados. En sonidos continuos o "pedales", el efecto tiende a empañar o borrar por así decirlo, las particularidades dinámicas o tímbricas del sonido, formando una masa homogénea. En sonidos percusivos y aislados da sus mejores efectos y es posible lograr tratamientos muy hermosos, siendo por ello uno de los procesos más usados en la música electrónica. Las conexiones serán siempre procedentes de salidas sonoras, sea con envolvente, con tratamiento tímbrico, aislados o mezclados, etc., con los resultados finales como se anotó anteriormente.

Variaciones comerciales: En combinación con otros módulos (igualadores, mezcladores). Con control para la reverberación y la amplitud simultáneamente. En versión múltiple.

Suprime las componentes y da la suma y resta de ellas

Nombre: Modulador anular.
Grupo: Modificación.
Función: Este módulo para funcionar, debe recibir dos sonidos en su entrada. La salida constará de dos nuevos sonidos juntos: uno que es la suma de los sonidos originales, y otro que es la resta de los mismos. Los dos sonidos originales se pierden en el proceso. En bajas frecuencias, un sonido modulará al otro en amplitud, pero en frecuencias medias y altas el resultado es irreconocible y altamente sugestivo.
Controles: Una perilla de control manual para el grado de modulación, que quedará anulada si se conecta un voltaje externo de control. El sonido de la salida no se altera si se invierten las entradas.

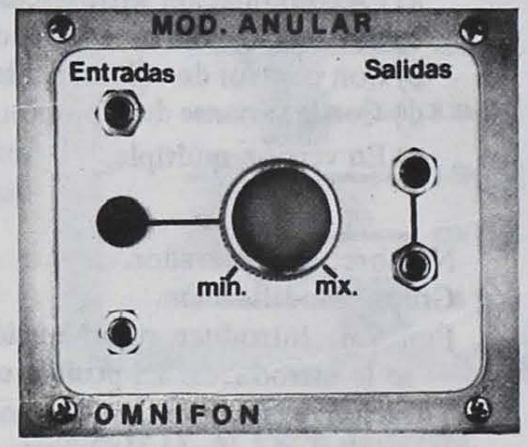


Figura IV. 27 Modulador anular.

Conexiones: Siempre serán en pares: de dos osciladores, de un ruidor y un oscilador, de sonidos tratados con envolvente, de sonidos reverberados, etcétera.
Como sólo funciona al existir las dos señales, se pueden imponer rítmos al material sonoro, en este caso en una entrada se conecta el material sonoro continuo y el patrón rítmico (por medio de pulsos de duración programada o controlada) en la otra entrada.
Variaciones comerciales: Con modulación de frecuencia. Con la suma y la resta de las frecuencias en salidas separadas. Con control de voltaje para la intensidad de entrada de cada sonido. En combinación con otros módulos.

Se usa para formar envolventes a voluntad

Nombre: Integrador de envolventes (o emisor o formador de envolventes).
Grupo: Modificación.
Función: El integrador de envolventes produce un voltaje de control que normalmente se usa para envolver la amplitud de un sonido y cuya forma (de envolvente) es determinada por la posición de las perillas. Cada vez que el módulo recibe un pulso de tiempo, el voltaje parte de cero y sube a su valor máximo en el tiempo escogido por la perilla "ataque". Al llegar a este valor máximo, se sostiene allí por el tiempo de la perilla "duración" y al término de éste regresa nuevamente a cero, en el tiempo indicado por "decaimiento". La duración puede ser controlada también por la longitud del pulso recibido externamente, mediante la selección correspondiente con el interruptor indicado. La forma de la cur-

va envolvente en el ataque y decaimiento es exponencial (no recta, sino curva, como una "s" muy suave y extendida).

Al inicio de la envolvente de salida (bocas superiores) un pulso se emite en la boca marcada pulso, en la salida.

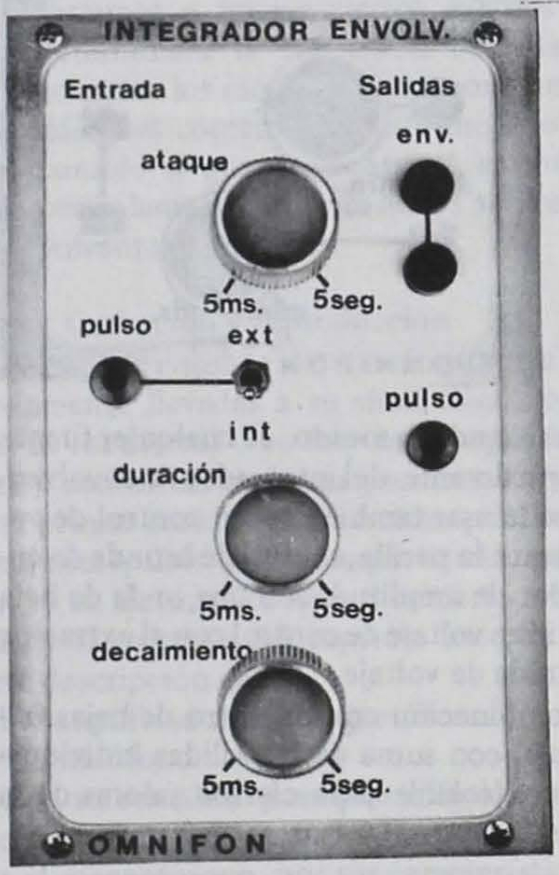


Figura IV.28 Integrador de envolvente.

Controles: Perillas para el ataque, duración y decaimiento, de 5 milisegundos a 5 segundos de duración. Un interruptor para seleccionar la duración, por control interno (perilla) o por la duración del pulso recibido. En todo caso, el pulso de entrada inicia la integración de la envolvente, sea con duración interna o externa.

Conexiones: Normalmente, este módulo se usa para imponer una envolvente a cierto sonido, en cuyo caso se lleva al envolvedor, donde concurrirá la onda que se desea envolver. Puede usarse también para producir glissandos ascendentes y descendentes conectado a un oscilador. Para modificaciones tímbricas, se llevará a un filtro.

Variaciones comerciales: Se hallarán en el mercado con el nombre ADSR (*attack-decay-sustain-release*) y en este caso incorpora el decaimiento normal más un segundo (soltar=*release*), decaimiento que es equivalente a soltar la tecla (en piano, clave) y da un tiempo adicional de atenuación programable. Con varias formas de onda para el ataque y el decaimiento (lineal, trapezoidal, exponencial). Con inicio manual de la envolvente. Con control de la amplitud de la envolvente en la salida. Con retraso ajustable en el inicio de la envolvente. Con control de voltaje externo para el total de la envolvente.

Impone una envolvente a un sonido

Nombre: Envolvedor.

Grupo: Modificación.

Función: Modifica o envuelve la amplitud de un sonido, conforme al contorno de un voltaje de control recibido del exterior y que generalmente procede del integrador de envolventes, aunque puede provenir de cualquier fuente de voltajes de control. Este módulo de hecho es un control de volumen con posibilidad de variaciones rápidas impuestas desde el exterior.

Controles: Una entrada para el voltaje de control que envolverá a

la onda sonora, con una perilla para modificar a voluntad el nivel de la envolvente recibida (al conectarse la entrada externa no se anula a la perilla).

Otra entrada recibe el sonido que va a ser envuelto, y tiene también una perilla para variar el nivel de entrada a voluntad. De la combinación de ambas perillas, se pueden lograr los niveles de envolvente y sonido, más cercanos a la idea del compositor.

Figura IV.29 Envolvedor.

Conexiones: La conexión tipo es el audio o sonido de cualquier fuente sonora; el voltaje de control normalmente del integrador de envolvente del voltaje de control. Se puede usar también como control de volumen, alterando a mano, mediante la perilla, el nivel de la onda de entrada. También como modulador de amplitud, con una onda de baja frecuencia previamente convertida a voltaje de control con el extractor de envolvente y llevada a la entrada de voltaje.

Variaciones comerciales: En combinación con un filtro de bajas frecuencias. En versión múltiple, con suma de las salidas individuales. Con emisor de pulsos controlable para ciertos valores de la intensidad de la envolvente.

Cambia las frecuencias a los voltajes de control que los producirían en un oscilador (es como el inverso de un oscilador)

Nombre: Cambiador f/v (convertidor de frecuencia a voltaje).

Grupo: Modificación.

Función: Los sonidos recibidos los convierte en voltajes de control, en forma proporcional a la frecuencia, o sea: menor frecuencia, bajo voltaje; mayor frecuencia, alto voltaje. La relación de cambio es de 1 volt por octava y así en cada octava de ascenso, subirá el voltaje de control 1 volt y a la inversa.

Controles: Una perilla para ajustar el nivel del voltaje de salida, alterando a voluntad (comprimiendo) la relación de 1 volt por octava.

Una segunda perilla controla la frecuencia a la que se emite un pulso, que representa un cierto nivel del voltaje de control producido, ya que en este módulo se establece la correspondencia entre ambos, voltaje y frecuencia y así, cada vez que se llegue al nivel selecionado, un pulso será emitido en la salida marcada "pulso".

Figura IV. 30 Cambiador de frecuencia a voltaje.

Conexiones: Se usará en forma normal en dos tipos de conexiones: para producir voltajes de control proporcionales a la frecuencia y con ellos producir envolventes, filtrado o sonidos puros, y en el otro tipo, para detectar o localizar ciertas frecuencias y con ellas terminar o iniciar ciertos eventos musicales: la perilla de nivel determinará la frecuencia deseada y con el pulso emitido, se actuarán los módulos correspondientes.

Variaciones comerciales: Este módulo no es muy común y se puede considerar que es "exótico", se consigna aquí para darlo a conocer solamente. En ocasiones se presenta con un extractor de envolvente.

6E. Grabación y reproducción

Memorización de los sonidos

La grabación consiste en transformar las señales acústicas, que han sido previamente llevadas a su símil eléctrico, ya sea en movimiento (en el caso de los discos) o en impulsos magnéticos (en el caso de cinta magnética) y escribirlas en forma permanente ya sea en un disco de plástico, en el primer caso, o en una cinta plástica recubierta por un óxido metálico susceptible de ser magnetizado, en el segundo caso. La reproducción es su lectura. Ya hemos cubierto ampliamente la grabación magnética en el apéndice del capítulo anterior y aquí nos limitaremos a una breve descripción de:

Preamplificador del magnetófono.

Magnetófono.

Por su sencillez y amplia difusión, no será cubierto el tocadiscos, que por lo demás, y en lo que respecta a grabación ha sido superado por el magnetófono, por sus características sobresalientes de fidelidad y facilidad de edición y alteración del material grabado.

Es el control (múltiple) del magnetófono

Nombre: Pre-magnetófono (Preamplificador de grabación).

Grupo: Grabación.

Función: Este módulo tiene funciones múltiples, a) Acepta señales de nivel bajo y medio y las amplifica y da el tratamiento adecuado para ser grabadas. b) Toma las señales captadas por las cabezas de lectura del magnetófono y las preamplifica hasta un nivel medio. c) Produce la señal magnética de alta frecuencia para borrar, mediante la cabeza de borrado, las cintas magnéticas, previo a la grabación. d) Compensa la respuesta a las frecuencias de las cabezas de lectura, a las varias velocidades de la cinta magnética. e) Proporciona controles y medidores para el control de la grabación y la reproducción en forma de realizar acciones controladas y precisas.

Todo lo anterior se realiza en dos canales.

Controles: Entradas para niveles bajos (B) y medios (M) de los sonidos externos. Entrada de las cabezas del magnetófono (de lectura). Un interruptor de energía eléctrica (encendido). Una perilla de compensación para las dos velocidades de la cinta (7 1/2 y 15 pulg./seg.). Una perilla (por cada canal) de amplificación para reproducción de las cabezas de lectura (°/o rep.) Perilla de

amplificación para el nivel de grabación del sonido (% gr.). Selector para la grabación o reproducción del sonido. Salida para audífonos (monitor) de lo que se graba. Medidor de nivel sonoro (VU) para la grabación y la reproducción y un botón para activar la grabación (gr.), junto a los medidores. La salida es doble: una para la señal leída y preamplificada y otra, para las cabezas de grabación y borrado del magnetófono.

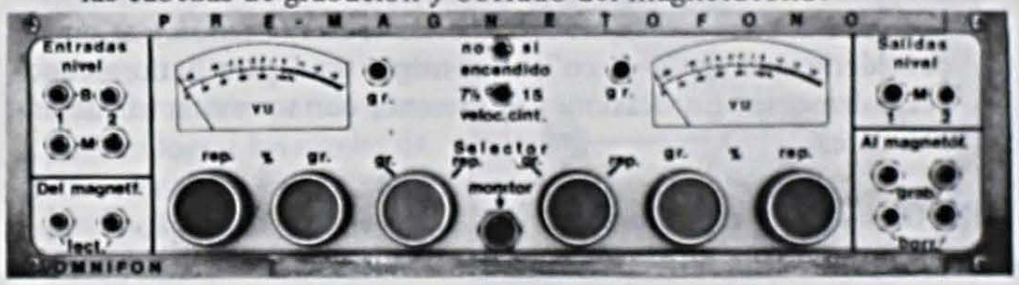


Figura IV.31 Preamplificador del magnetófono.

Conexiones: Este módulo trabaja unido al magnetófono, recibiendo las señales de la cabeza de lectura y enviando la señal eléctrica a las cabezas de grabación y borrado. En la entrada puede recibir señales de nivel bajo: micrófonos, tocadiscos; o de nivel medio: sintetizador, radio, cinta magnética. En su salida produce señales de nivel medio que pueden ser adicionalmente procesadas en el sintetizador, aunque por lo general serán amplificadas y escuchadas.

Variaciones comerciales: Las variaciones son casi ilimitadas: Con filtros; con amplificador incorporado; con luces en lugar de medidores para el nivel de grabación; en versión múltiple, llamados multipista; con sistema de control de ruidos.

Proporciona el control de movimiento y la magnetización de la cinta (o memoria magnética)

Nombre: Magnetófono (grabadora de cinta, transporte de cinta).

Grupo: Grabación.

Función: Es el módulo encargado de la magnetización de la cinta, con fines de grabación y también de la lectura con fines de reproducción. Se encarga asimismo del borrado de grabaciones previas en la cinta antes de la grabación nueva.

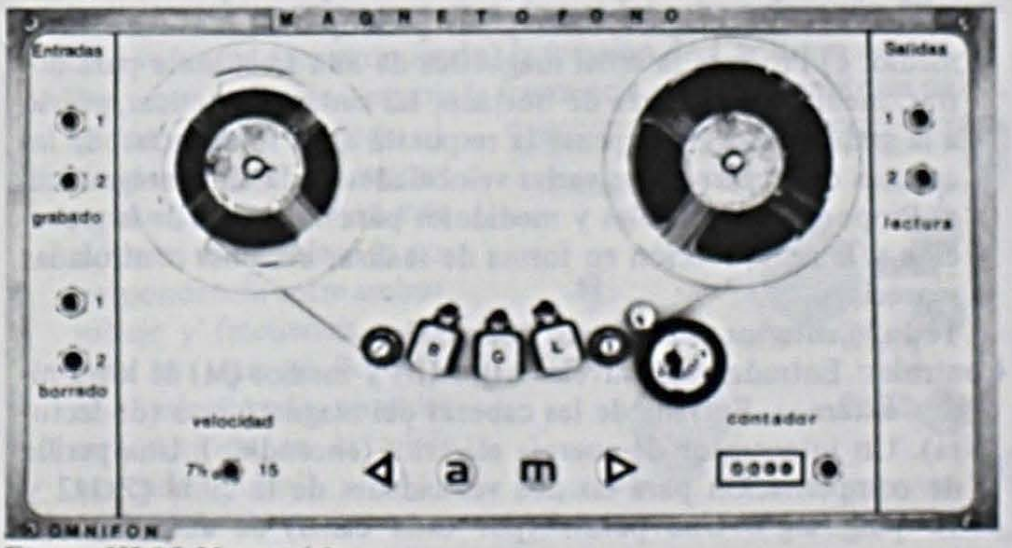


Figura IV.32 Magnetófono.

Para los fines anteriores, incluye los mecanismos encargados del transporte de la cinta en sus formas de lectura o grabación a la velocidad escogida (marcha: m), rápido adelante (▷), rápido atrás (◁) y parada o alto (a). Como este módulo ya se vio extensamente en el capítulo anterior, pasaremos a vuelo de pájaro, sólo para completar el equipo del estudio y su descripción.

Controles: Un selector de velocidad (7 1/2-15). Cuatro botones para el modo de marcha. Un contador de paso (no marca ningún valor ni de tiempo ni de longitud de cinta, es sólo una referencia de ubicación). Las entradas para las cabezas de grabación y borrado (procedentes de pre-magnetófono) y las salidas de las cabezas de lectura, con destino al pre, también.

Conexiones: Las conexiones comunes son del y al pre-magnetófono conforme se describió en este módulo.

Variaciones comerciales: También innumerables. Las hay desde 15/16 pulgada por segundo de velocidad, hasta 30 pulgadas por segundo en velocidades simples y también en combinadas. Lo más usual, para una buena fidelidad, será 3 3/4, 7 1/2 (principalmente) y 15 pulgadas por segundo.

También se encuentran desde una pista (*full track*) hasta 8 pistas (en dos cabezas de 4). Lo más común son dos pistas en media cinta (*quarter track stereo*), es decir: pistas 1 y 3 a la ida y pistas 2 y 4 al regreso.

6F. Amplificación y audición

Conversión de electricidad de bajo nivel en alto, y en vibración del aire (señales acústicas)

Los sonidos producidos en el estudio, y su tratamiento posterior en los aparatos diferentes de que consta, son de muy bajo nivel eléctrico, y no se pueden escuchar directamente si no se llevan previamente a un nivel de potencia que permita mover a las bocinas a un nivel suficiente para comunicar esta vibración al aire en la amplitud o intensidad deseada. La electrónica permite producir sonidos, desde un levísimo susurro hasta el potente sonido de una orquesta de más de 100 instrumentos, con el simple recurso de girar una perilla y sin el menor esfuerzo.

Los aparatos encargados de llenar esta función con versatilidad son los siguientes:

Pre-manual (preamplificador manual).
Pre-voltaje (preamplificador controlado a voltaje)
Pre-general (preamplificador general).
Amplificador (amplificador de poder).

Debemos advertir que el sonido que ha sido llevado a los preamplificadores (pres) requiere forzosamente ser llevado al amplificador de poder o de potencia, antes de conectar la salida a las bocinas para ser escuchado, por lo que el único módulo que amplifica hasta el nivel audible, es el amplificador general o de poder o de potencia.

Las bocinas no serán cubiertas en el presente estudio, por ser ampliamente conocidas y de sencillo manejo e instalación.

Amplifica niveles eléctricos, a los niveles

Nombre: Pre-manual (preamplificador manual).
Grupo: Amplificación.

del omnifón

Función: Es un preamplificador de alta sensibilidad, diseñado especialmente para llevar hasta un nivel medio eléctrico las señales provenientes de todo tipo de fonocaptores, como micrófonos, pastillas magnéticas de tocadiscos y también de aparatos musicales electrónicos, para llevarlos a un nivel compatible con el resto de los módulos del omnifón, permitiendo de este modo su tratamiento.

Controles: Una entrada para cada tipo de impedancia: alta media y baja (la resistencia que presentan los fonocaptores en términos generales las pastillas de tocadiscos, es baja. Los micrófonos pueden ser las tres, los aparatos musicales son generalmente alta Las cabezas de grabación y reproducción son baja). Un control de volumen en forma de cursor lineal, completa los controles de este módulo.

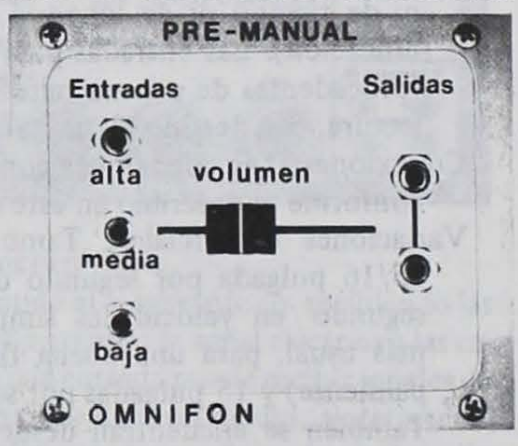


Figura IV.33 Pre-manual.

Conexiones: Normalmente a fuentes sonoras externas al omnifón, como micrófonos, tocadiscos, cintas magnéticas, casets, etcétera.

Variaciones comerciales: Con una gran variedad de tipos de contactos: RCA, Cannon, microfónico normal, microfónico miniatura, etc. También en versiones múltiples y con combinación de mezclador.

Igual que el anterior, pero controlado por voltaje

Nombre: Pre-voltaje (preamplificador controlado por voltaje).

Grupo: Amplificación.

Función: Su funcionamiento es similar al envolvedor, amplificando los sonidos recibidos, en proporción al voltaje de control que se le envíe. Es posible producir amplificación en forma lineal o en forma exponencial y también producir continuamente un voltaje de control del valor deseado a la salida.

Controles: Una entrada para el voltaje de control y otra para los sonidos que serán afectados en su amplitud. Un interruptor para el modo de amplificación: lineal o exponencial. Una perilla para el voltaje continuo de control que se producirá a la salida (volt. fijo) y finalmente otra perilla para la amplificación de los sonidos de entrada.

Figura IV.34 Pre-voltaje.

Conexiones: Se puede usar para producir envolventes, si se desea un incremento más fuerte o dinámico, usar la amplificación exponencial (exp.). Para modular en amplitud, se llevará una onda de

baja frecuencia al extractor de envolvente y a la entrada de voltaje de este módulo. Se usará también para incrementar el nivel original a cierto material sonoro, mediante la perilla de voltaje fijo, en el nivel deseado.

Variaciones comerciales: Con amplificación para el voltaje de control. Con modulación de amplitud incorporada. En versión múltiple y en combinación con otros módulos. En versión doble con atenuación cruzada (*cross-fader*) o sea que un canal se atenúa mientras el otro se refuerza simultáneamente o viceversa.

Es un centro de control básico

Nombre: Pre-general (Preamplificador de uso general).

Grupo: Amplificación.

Función: Representa a la vez un preamplificador, un pequeño centro de control y un filtro de atenuación suave. Debe ser usado en conjunción con el amplificador y con las bocinas conectadas, puesto que amplifica hasta un nivel medio, que puede ser oído únicamente en audífonos, pero no en bocinas.

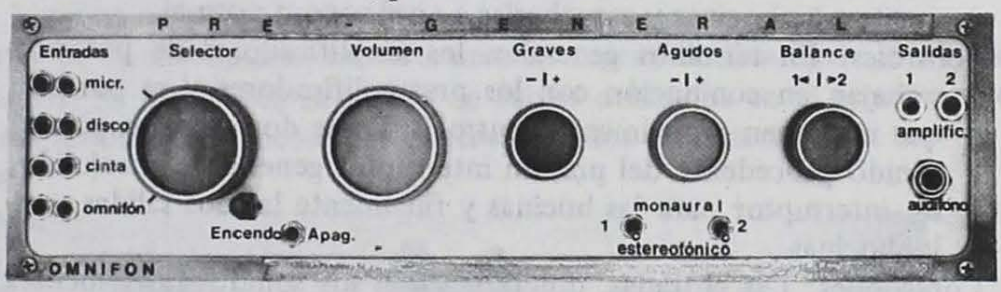


Figura IV.35 Preamplificador general.

Controles: Funcionando como control, recibe en sus entradas a los micrófonos, magnetófonos, tocadiscos, sintetizador y otros aparatos del estudio, conforme a las entradas correspondientes, seleccionadas por la primera perilla. Los procesa y/o amplifica. Selecciona el modo de operación: monaural o estéreo, mediante los interruptores 1 y 2 , de la parte inferior. Realiza un balance entre los dos canales de salida, mediante la (última) perilla balance.

Funcionando como Preamplificador: la perilla (segunda) controla la amplificación para cada canal (la perilla es doble y está marcada volumen). Las salidas (a la derecha) del material sonoro preamplificado, para los canales 1 y 2 así como para los audífonos en caso de usarse. Un interruptor de encendido y apagado.

Funcionando como filtro: posee dos filtros de pendiente suave, uno de paso de banda baja (graves) y otro de alta (agudos), en perillas dobles para cada canal, para alterar la respuesta de los circuitos internos a las diferentes frecuencias y dar una curva más adaptada al tipo de oyente. También para compensar los ruidos bajos (*hum*) y los altos (*hiss*).

Conexiones: Es el receptáculo de las salidas de los diferentes aparatos del estudio. En nuestro modelo hemos puesto al frente las entradas y salidas que normalmente van atrás y cuyas conexiones

se realizan por lo general, en forma permanente. En ocasiones son llevadas a un tablero de control o consola de audio, siendo allí donde se realizan las diferentes combinaciones de conexiones.

Variaciones comerciales: Hemos visto los controles básicos de un pre. Sus variaciones comerciales son enormes: con gran selección de filtros, con medidores o luces de nivel sonoro. Con el amplificador incorporado y en este caso se llama "amplificador integrado". Con un circuito de énfasis a los sonidos graves (*loudness*). Con cuatro canales (cuadrafónicos). Con sistemas de control de ruido (*Dolby*) etcétera.

Lleva los niveles medios eléctricos a niveles altos para su conversión acústica

Nombre: Amplificador (amplificador de potencia).

Grupo: Amplificación.

Función: Es un amplificador de dos canales o estereofónico, que acepta señales de audio de nivel medio (de cualquier procedencia) y las lleva a un nivel alto de potencia, para ser conectadas directamente a las bocinas y escucharlas a nivel sonoro normal.

Controles: En términos generales, los amplificadores de potencia trabajan en conjunción con los preamplificadores y es por ello que no tienen propiamente controles. Posee dos entradas para el sonido procedente del pre, un interruptor general de encendido, un interruptor para las bocinas y finalmente las dos salidas para las bocinas.

Conexiones: Las entradas, donde llegarán los sonidos provenientes del pre, y las salidas a las bocinas. Pueden ser conectados a las entradas los pres del omnifón.

Se debe tener cuidado especial de conectar las bocinas antes de encender el amplificador, o poner el interruptor en no, o sufrirá un daño serio.

Figura IV. 36 Amplificador.

Variaciones comerciales: En nuestro modelo las conexiones se hallan al frente, pero como en el pre, no es el caso general y comúnmente se hallan detrás del aparato. Las variaciones son enormes: Con medidores o luces del nivel sonoro. Con varios controles: volumen, filtraje, inversión de canales, etc. Con selección de varias impedancias para las bocinas (las más comunes son 8, 12 y 16 ohms, que es la unidad de resistencia eléctrica). Con ventiladores para enfriamiento.

Con esto terminamos con el equipo de un estudio de música electrónica a base de sintetizadores controlados a voltaje y módulos anexos.

Deseo dar un consejo a los potenciales compradores de equipo nuevo: muchas de las características que se anuncian en la actualidad

en los equipos de alta fidelidad son sofisticaciones más de tipo académico que práctico. En el tiempo que trabajé en la General Electric habíamos preparado un salón con los mejores equipos del mercado, y el de la General Electric (que era de un precio medio). Teníamos la posibilidad de cambiar de un equipo a otro sin el menor ruido durante una presentación sonora, con el propósito de comparar dinámicamente todos los equipos. Como sólo nosotros sabíamos la clave del equipo que sonaba, nunca hubo un cliente (muchos eran músicos profesionales y directores de orquesta) que identificara que equipo sonaba cada vez...

Después de un cierto límite de calidad, lo que se paga ya no se escucha

¿Qué significa esto?, pues sencillamente, que después de cierto nivel de calidad lo que se paga ya no se oye...

7. Un ejemplo de alambrado normal

Este capítulo se cierra con un ejemplo de alambrado en el omnifón. Es un alambrado de tipo normal sin ninguna sofisticación (la que surgirá con la práctica asidua del aparato), y sólo pretende dar una muestra de la rutina del procedimiento.

Cables más comunes usados en el estudio

Antes de la descripción, consideramos necesario dar una ligera idea (al menos) de los principales tipos de cables utilizados en el estudio (con sus terminales o enchufes y los receptáculos o bocas donde se conectan).

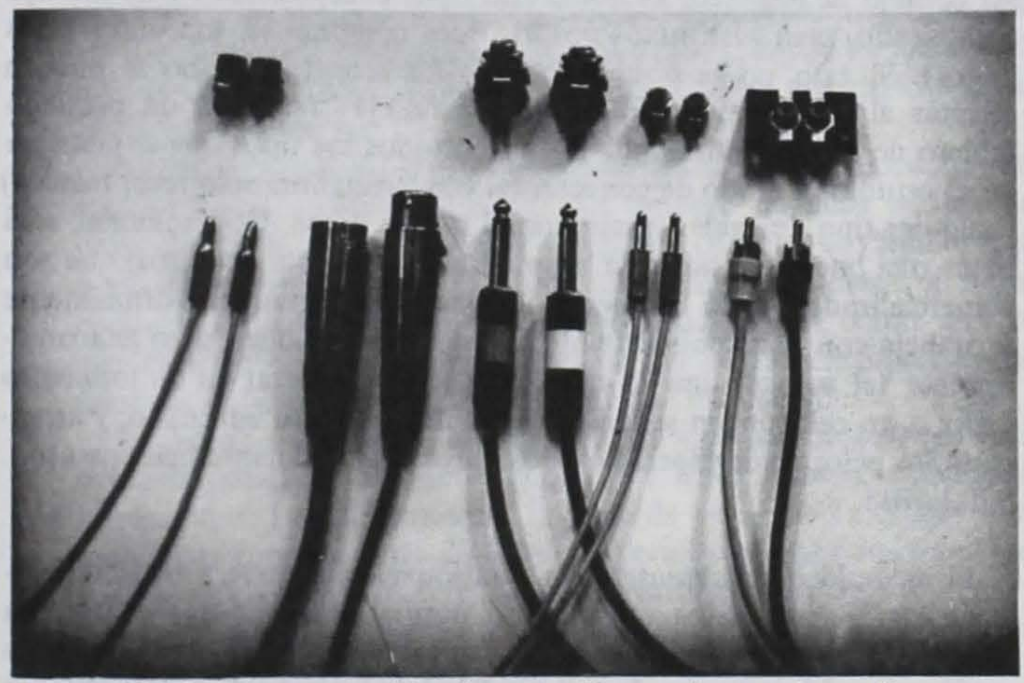


Figura IV.37 Diferentes cables de conexión usados en el estudio.

La figura nos muestra, de izquierda a derecha, los cables y en la parte superior los receptáculos. A continuación damos los nombres de los cables y sus principales usos.

El primero es el cable banana, generalmente utilizado para los voltajes de control y los pulsos de tiempo, también se usa para la conexión de las bocinas en algunos equipos. Es un cable sencillo y lleva una sola terminal.

El segundo es el Cannon, usado para micrófonos, tiene tres terminales y es un cable blindado, es decir lleva una malla tejida de alambre por

fuera del cable que lleva el sonido, y que normalmente se conecta a tierra (la malla). El de la izquierda es el receptáculo o hembra (*jack*) y el de la derecha es el conector o macho (*plug*).

El tercero es el contacto microfónico normal, tiene dos terminales, la punta es el cable interno que lleva la señal y el cuerpo es la malla del blindaje que se conecta a tierra. Se usa para micrófonos también, y en algunos sintetizadores (Moog) para llevar la señal de audio y también las de control (voltajes de control).

El cuarto es llamado microfónico miniatura y es igual al anterior, pero más pequeño. Se usa para señales de audio y en algunos sintetizadores (Buchla) para manejar los sonidos exclusivamente.

El quinto y último es el llamado fono-RCA que también es blindado, y es de uso común en amplificadores, pres., grabadoras, casets y todo tipo de equipo de audio comercial, siendo el más común.

Todo lo anterior, principalmente para equipo norteamericano y japonés, el equipo europeo utiliza otros tipos de contactos de tipo múltiple, que por su variedad y diversidad no veremos. Aun en el equipo norteamericano, por falta de una adecuada normalización de contactos, cables y receptáculos, existe una diversidad enorme. Los que hemos presentado aquí son los más comunes, pero es casi seguro que el estudiante encontrará en el estudio muchos otros desconocidos para él.

Posibilidad de simplificación en la gran variedad existente

Mi consejo al respecto, es que si son tipos excepcionales y de manejo complicado, sean sustituidos por los tipos comunes (si son uno o unos pocos). Si esto no es posible, porque los receptáculos no se puedan adaptar al tipo común, entonces se aconseja "fabricar" un pequeño tablero de adaptación, donde se tengan todos los tipos que se manejan en el estudio, a modo de conectar (el trablero tendrá sólo receptáculos) cualquier tipo de cable, y salir con el que se desea. Otra solución será tener una buena cantidad de adaptadores de unos a los otros, que son comercializados y no requieren un gasto muy grande. Normalmente se trabaja con la combinación de todas estas soluciones, pero se aconseja tener (al menos) una de ellas, pues se puede llegar en un momento dado, a un callejón sin salida por falta del contacto adecuado, y arrancarse los pelos de desesperación, lo cual saldrá finalmente más costoso... y doloroso.

El ejemplo que presentamos a continuación incluye sólo 12 módulo de los 28 estudiados y es el caso normal, es decir que se usa una fracción del total en la inmensa mayoría de los alambrados; en el otro extremo, yo he visto usar la casi totalidad de los módulos, para obtener efectos que pudieron haber sido logrados con sólo unos pocos módulos, por desconocimiento de lo que puede realizar cada uno de ellos.

Intención del alambrado

Deseamos obtener dos voces independientes. Una de ellas, será una secuencia melódica programada en el secuenciador, en la hilera A de botones. Esta voz además, tendrá una envolvente de tipo percusión, es decir, ataque violento, duración nula y decaimiento medio, su ritmo será variable y de tipo aleatorio, es decir, que cambiará cada vez que el secuenciador pase por el paso número 5 del programa y no será posible predecir que ritmo será el que resulte.

La otra voz es un ruido rosa filtrado en forma programada, y tratado en el modulador de anillos con una onda cuadrada, cuya frecuencia se hará variar manualmente. El resultado se filtrará nuevamente, también en forma manual, y la salida de la suma de componentes se llevará a reverberar, y a la salida.

Sonidos que se obtienen y controles

¿Cómo suena?, bueno, es difícil describirlo con palabras, al igual que la música en general que yo llamo: interpretación literaria de la música y que –para mí, al menos – siempre se equivoca en su apreciación, por la sencilla razón que la música explota valores estéticos muy diferentes a los de la literatura, normalmente asociada con imágenes y acción. Bueno, pero me fui por los cerros de Ubeda de nuevo, como decía Sancho Panza, y voy a intentar describir el sonido resultante de esta programación:

Primer sonido

La primera voz, es una secuencia melódica y dependerá necesariamente de la melodía programada (que además, puede ser variada sobre la marcha). Como son sonidos con envolvente, se podrá variar ésta desde pequeños golpes secos (*clics*), hasta sonidos tipo clave o piano, o bien, prolongados, tipo órgano. La melodía puede ser variada cambiando la posición de las perillas del secuenciador, cada vez que se desee cambiar mediante los intervalos pensados y paso a paso, o también, sobre la marcha en forma cuasi-aleatoria; de todos modos, como el valor de las notas de la secuencia melódica está variando continuamente en forma impredecible, pues el reloj está programado en forma externa con el aleator, la melodía no tendrá un carácter repetitivo en la duración de sus notas.

Segundo sonido

La segunda voz es, a su vez, el resultado de dos sonidos, que se han tratado en el modulador anular. El primero de ellos es una simple onda cuadrada, cuya frecuencia y régimen (timbre) se variarán a mano, y siendo determinante de la altura del sonido final, desde un retumbar como de truenos que se van extinguiendo hasta como un "tutti" orquestal en el registro más agudo de los instrumentos, dependiendo también de las posiciones de los filtros y el reverberador.

De hecho se trata de un dúo con una voz melódica (o percusiva) y otra continua, desde graves profundos hasta agudos cercanos a los ultrasonidos. De todos modos, la gama de variación en ambas voces es amplísima (por no decir ilimitada) y permite obtener efectos originales e inesperados, por la intervención del aleator en el circuito.

Se recomienda firmemente al estudiante que realice en la figura, un análisis completo del alambrado, cuyo arreglo permite seguir cada alambre por separado y observar cada tipo de conexión en los módulos de que consta el circuito completo. Este representa la certeza (si se analizó con facilidad) de que el estudiante podrá comprender con cierta soltura, cualquier sintetizador comercial que se le presente.

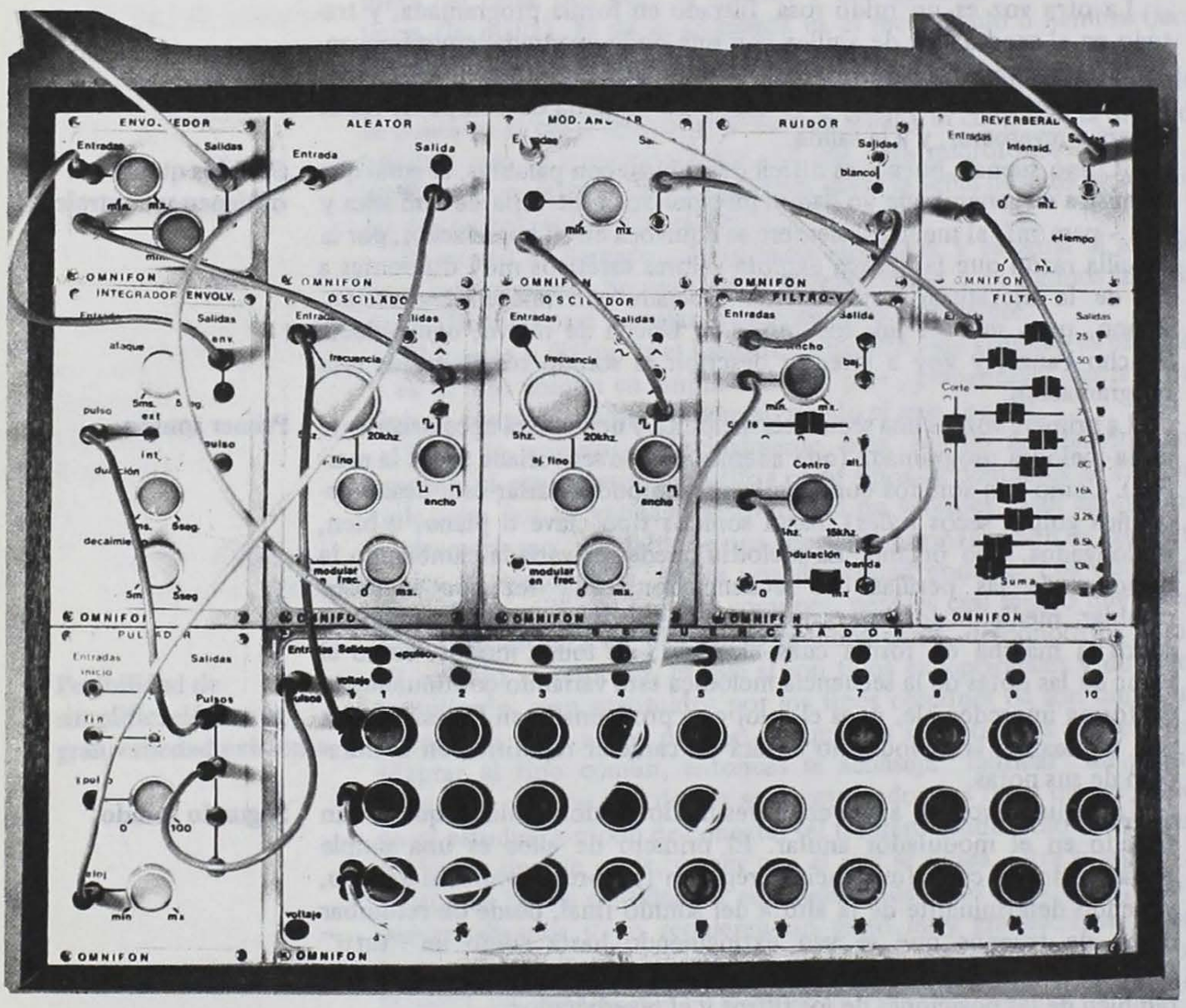


Figura IV.38 Un ejemplo del alambrado en el omnifón.

CAPITULO V

LA COMPUTADORA EN LA MUSICA

1 y 2. Resumen, esbozo histórico *(continuación)* y formas de utilización de la computadora:

Hablar de la computadora en su aplicación musical, es hablar ya del presente de la tecnología aplicada al arte y así, el resumen se confunde con el esbozo histórico. En el capítulo I dejamos la historia de la música en los inicios de la aplicación de las computadoras a la composición de obras musicales.

2A. Como compositora

La computadora "compone" una obra musical

Los trabajos de Hiller e Isaacson, principalmente, produjeron composiciones musicales hechas por una computadora sin intervención de un ser humano en el curso de la composición: la máquina estaba "programada" para generar secuencias de notas y seleccionar las que encajaban dentro de un patrón previamente establecido, incluyendo ritmo, dinámica e instrucciones de la ejecución. Las que cumplían tal patrón, eran aceptadas y las que no, rechazadas. Esta secuencia a velocidad de computadora, de unas mil selecciones por segundo, aproximadamente, fue hecha en la computadora Illiac (Universidad de Illinois) y como resultado se produjo por este método, una suite para cuarteto de cuerdas, siendo bautizada como "Suite Illiac", con partitura para dos violines, viola y cello, producida enteramente por computadora.

Las reglas de la composición se fijaron previamente

Tal forma de producir música viene a ser una versión más elegante moderna y poderosa del Arca Musarríthmica o de los dados de Mozart, que vimos antes; pero la aparente "maestría" en la composición por computadora es una ilusión, ya que se mueve dentro de los estrechos límites que le han sido previamente fijados por el compositor, por medio del programa que controla a la máquina.

La Suite Illiac fue producida en el año de 1956, seguida por la publicación de un libro que explicaba la técnica seguida y la partitura de la suite (*Experimental Music.* Hiller e Isaacson, Mc.Graw Hill, 1959). En 1962, el compositor Xenaquis también hizo componer asimismo a una computadora (en París) y estos ejemplos fueron seguidos en varios países por músicos especializados en informática (informática es la ciencia del proceso de la información, según bautizo francés). No entraremos en detalles mayores sobre esta forma de aplicación de la computadora, por ser, de las tres existentes, la que menos valor artístico tiene: componer música automáticamente, al estilo tradicional; técnica que,

El uso de la computadora precedió al sintetizador controlado por voltaje

por lo demás, se ha ido abandonando casi completamente. Es conveniente hacer notar, de paso, que la utilización de la computadora precedió cronológicamente al sintetizador musical controlado por voltaje y despertó, desde entonces, el deseo de los especialistas de utilizarla como un nuevo instrumento musical, y tanto, que en el presente existen asociaciones y publicaciones periódicas sobre las aplicaciones y los progresos en computadoras, no existiendo nada similar respecto al sintetizador controlado por voltaje.

2B. Como instrumento musical

La computadora produce sus propios sonidos, calculados numéricamente

La segunda forma de utilización de la computadora en el terreno musical, fue la de hacerla producir sonidos calculados numéricamente a voluntad del compositor-informático. Desde los años 50, se realizaron varios intentos, primero para imitar los sonidos de los instrumentos tradicionales y de la voz humana, por medio del cálculo numérico de las ondas que los producen, cosa imposible de ser realizada humanamente, de no ser por la enorme velocidad y capacidad de las computadoras electrónicas. De la mera imitación se pasó, como secuencia natural, a la generación de nuevos sonidos y a satisfacer el deseo del compositor de "fabricar" sus propios instrumentos en la computadora, con estructuras inventadas por él mismo.

Los números se vuelven sonidos con el convertidor D/A

A fines del año 1950, los laboratorios de la Bell Telephone Co., lograban producir por primera vez sonidos musicales mediante una computadora. El producto final era una cinta magnética con los valores numéricos de las ondas sonoras, los que eran convertidos por un aparato llamado "convertidor digital a analógico", a los sonidos reales, tal y como se obtendrían en la grabación de dicho sonido en una cinta magnética común. Desde entonces la forma más conocida de utilización de la computadora ha sido la establecida por estos laboratorios, que con Mathews y Miller, desarrollaron la serie de programas para la producción de musica denominada "Music", una versión de la cual veremos en forma global más adelante. La investigación ha sido ininterrumpida desde entonces hasta el presente, pero puede decirse que en una u otra forma, todos los trabajos de aplicación de la computadora a la producción de música han sido basados en, o influidos por, este sistema.

Los programas "Music"

Acceso directo a la computadora con el "lápiz luminoso"

Para el año de 1968, ya era posible prescindir de la preparación de los datos de entrada, por lo común a base de tarjetas perforadas, utilizando una pantalla y con la ayuda de un "lápiz luminoso" para indicar a la computadora los diferentes parámetros musicales que se deseaban: altura, duración, volumen, etc., con el simple recurso de dibujar su contorno o señalar la selección adecuada en la pantalla.

Puede considerarse que la aplicación de las computadoras a la producción musical es ya un problema resuelto, y es utilizada en forma rutinaria por los compositores que han adquirido la nueva disciplina principalmente en las universidades, donde disponen de computadoras para sus usos internos y que pueden proporcionar una "terminal" de la misma al compositor que lo solicite.

Francia sigue a la cabeza en computadoras aplicadas a la música

En Francia, con la creación del IRCAM [*Instituto de investigación (recherche) y coordinación acústico-musical*] en 1975, ahora bajo la dirección de Boulez; también con la orientación de Radio Francia (donde se originó la música concreta) hacia la composición por computadora y con Xenaquis al frente del CEMAMu (*Centro de estudios de matemática y automatismo musicales*), auspiciado por la PTT [correo (*poste*), teléfono y telégrafo] parece que la decisión unánime y universal de considerar a esta máquina como el instrumento musical de nuestra época, cuenta con algunas de las personalidades musicales contemporáneas de más prestigio, y no será ya reversible. Este esfuerzo de Francia por continuar como líder musical en el mundo artístico contemporáneo (desde la música concreta), y el enorme interés y ayuda que reciben artistas y técnicos para estimular sus esfuerzos, merecen que se les dedique un corto apéndice sobre los trabajos que desarrollan y así, al término de este capítulo, se hallará el que debiera ser inspiración de artistas y mecenas para darle al mundo actual –materialista por excelencia– un toque de arte y de espiritualidad, o si se quiere, más modestamente: el empleo de recursos a fines no utilitarios (yo siempre he pensado en el edificio *Empire State* como símbolo de Norteamérica: una maravilla de ingeniería, pero sin belleza y supeditada al utilitarismo... y en la Torre *Eiffel*: una maravilla de ingeniería en busca de la belleza, y como símbolo de que "no sólo de pan vive el hombre" o de una Europa que no desea perder su primacía artística... ¿me equivoco?).

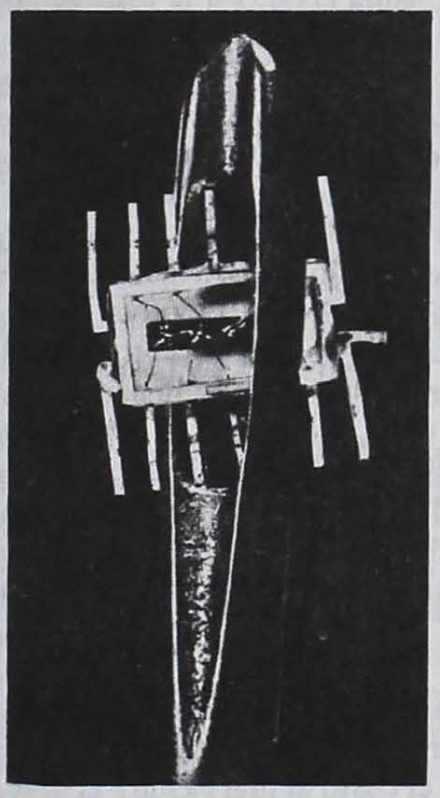


Figura V.1 Un amplificador en microcircuito.

A la fecha con la precipitada miniaturización de la electrónica y con la aparición de los microcircuitos –una muestra impresionante de su tamaño es mostrada en la figura–, se ofrecen en el mercado varias minicomputadoras con la clara apariencia –y función, claro está– de un instrumento musical completo de teclado, en los cuales, la generación y el tratamiento de los sonidos se realiza por cálculo numérico y sus posibilidades son ya las de un instrumento completo con recursos y sonoridad "equivalentes a una orquesta de tamaño medio".

La descripción de estos se hallará más adelante, cuando se comprenda la jerga de las computadoras y la forma en que operan para producir sonidos. En este momento sería prematuro e inútil.

2C. Como control de un sintetizador

La computadora controla a un sintetizador, generando sus voltajes de control

Una tercera aplicación de las computadoras es su hibridación con el sintetizador, en sustitución de los secuenciadores, con sus limitaciones existentes a la fecha. En esta combinación, la computadora (normalmente una minicomputadora, con referencia a su tamaño, no a sus recursos) genera únicamente los voltajes de control con destino al sintetizador, y conforme a la programación o partitura elaborada previamente por el músico. Esta aplicación está tomando gran impulso y a la fecha ya se comercializan varias minicomputadoras "universales", para controlar cualesquier marca y tipo de sintetizador. En ellas se puede programar la música con posibilidades polifónicas y control absoluto para la altura, timbre, intensidad, etc. Es posible corregir porciones aisladas de la obra y transferir, revisar y editar sus elementos, a modo de tener la obra terminada en la partitura previamente a la grabación, eliminándose, naturalmente, la edición, corte, borrado y demás quehaceres, tediosos y delicados en la cinta magnética, al estilo tradicional.

Tiempo real y su definición

Uno de los precursores en este terreno fue Peter Zinovieff, quien en 1968 publicara un estudio sobre el control de un laboratorio de música electrónica por medio de una computadora. En 1969, Mathews daba a conocer el programa "Groove" para computadora, que realizaba el control de un sintetizador en "tiempo real". En el dialecto de la informática, se llama tiempo real a las condiciones bajo las cuales la computadora proporciona los resultados esperados a tiempo para que las decisiones adecuadas sean tomadas sin espera de ninguna clase. En la utilización de la computadora como instrumento musical se requiere normalmente un tiempo de espera indeseable entre la producción de los sonidos digitalmente y su conversión (digital-analógica) a sonidos reales, y se comprende que éste no es tiempo real, pues de la sensación auditiva surgirán naturalmente, correcciones y cambios estéticos que afectarán a la composición, sobre todo tratándose de material sonoro poco familiar al compositor... y a veces enteramente desconocido. Es conveniente anotar de paso, que la composición tradicional no es en tiempo real (usando un vocablo moderno en un oficio antiguo) ya que, excepto para el oído entrenado del compositor, que le permite "oir" en su imaginación, algunas sorpresas le esperarán, a pesar de todo, al escuchar la obra en su estreno. Quizá la única forma de composición actual en tiempo real, es la improvisación en los instrumentos tradicionales y en la composición por medio de sintetizador, donde los sonidos se escuchan inmediatamente en su forma final, lo cual representa un gran atractivo de esta forma de composición.

La composición en computadoras grandes no es en tiempo real

La composición tradicional (excepto para un solo instrumento) tampoco es en tiempo real

Por supuesto que una computadora en la aplicación segunda, puede conectarse permanentemente a un convertidor digital analógico y obtener el sonido también de inmediato, pero el costo actual es muy grande, pues requiere una instalación donde la computadora esté dedicada por completo a la producción de los sonidos y esto lo hace prohibitivo. En comparación, la aplicación tercera es económica en su adquisición y operación, sobre todo si consideramos que en el presente la regla es

hallar un sintetizador controlado por voltaje en la generalidad de los estudios de música electrónica.

Aplicaciones varias de las computadoras

La tendencia actual está llevando a los estudios a la adquisición y utilización de las computadoras en las formas más variadas además de las tres descritas con anterioridad. En el laboratorio de Friburgo, de la Radiodifusora del Suroeste de Alemania, se me mostró una minicomputadora en la cual se almacena, o memoriza, el programa o alambrado del sintetizador, que se ha realizado externamente por el compositor en turno de trabajo. Este programa almacenado es "llamado" al reiniciar nuevamente el trabajo y la computadora vacía el contenido de su memoria sobre el tablero de conexiones, de modo que el equipo queda nuevamente programado en la misma fase y estado en que se dejó con anterioridad. El que ha trabajado en un sintetizador bajo tiempo fijo y limitado por la gran demanda del mismo, comprenderá lo que esto significa, ya que normalmente una gran porción del tiempo asignado se va –inútilmente– en volver a alambrar lo que se desalambró antes para poder llegar al lugar en que se interrumpió la composición, por término del tiempo asignado. Cuando el alambrado es muy denso, esto llega a ser positivamente desesperante e infructuoso, de modo que esta solución es realmente genial y puede considerarse como una variación de la aplicación tercera que estamos viendo.

3. Descripción de una computadora

En el año de 1966, trabajando aún en el centro de cálculo de la Compañía de Luz, recibimos la invitación acostumbrada para la "Conferencia otoñal de computación", en los Estados Unidos, sobre aplicaciones técnicas de las computadoras. Esta vez, sin embargo, venía un hecho insólito: se dedicaba una sesión completa de la conferencia al tema "La computadora en la música", coordinada por el Profr. Von Foerster.

Los especialistas en computación se acercan a la música

Unos años después, en 1969, y como resultado de tal conferencia, apareció el libro "Música por computadora", arreglado en tres partes: 1) Programas y sistemas; 2) Algoritmos en composición, (algoritmo es un conjunto de instrucciones dadas a la computadora para resolver cierto problema) y 3) Estética.

La conferencia y el libro son, en mi opinión, inaccesibles para un músico sin un conocimiento previo... y no superficial, de las computadoras. Aún para nosotros los especialistas, ambos resultaron difíciles de comprender y una vez más aprovecho la ocasión para insistir en que los sintetizadores y las computadoras no serán adecuadamente explotados por los que deben hacerlo: los músicos de profesión, hasta que sean simples de comprender y operar. Por el momento esto representa más bien un intercambio científico-técnico-artístico entre especialistas híbridos, que, desde luego, es necesario y dará un ímpetu al avance de los nuevos instrumentos electrónicos, pero insisto en que será saludable que el músico empiece a comprender, en términos y conceptos sencillos, qué es, cómo trabaja y cómo puede producir música, una computadora y ése es el objeto de este capítulo... por lo demás, el léxico musical ya no volverá a ser el mismo después de esta metamorfosis, y la sola asimilación de la

El vocabulario musical se ha ido transformando

jerga especializada y los conceptos que representa, ya son una ventaja considerable para el músico que los conoce, sobre el que no.

Ya hemos comenzado a usar una serie de términos técnicos de computación, y justo es que después de esta semblanza histórico-descriptiva sobre la aplicación de las computadoras a la música, comencemos por el principio, y en forma ordenada y rigurosamente secuencial.

Veremos a las computadoras desde sus elementos más simples

Los autores que tratan este tema presuponen que el lector tiene ya cierta familiaridad con las computadoras y se disparan usando el dialecto de los especialistas. Probablemente la amplia difusión que han tenido estas máquinas y la enorme cantidad de publicaciones de divulgación que existen, los hagan pensar que no hay nadie que ignore este tema. Yo no sé si los músicos no "iniciados" que llegan a leer estas obras las comprenden, o si tienen el cuidado de dejar el libro, ir a la librería por un manual de computadoras "al alcance de todos", darle una buena leída y luego retomar la lectura donde la habían dejado. En todo caso, prefiero evitar al lector el tomarse este trabajo comenzando por el principio, y aunque sea en una forma somera, se tratará de hacer comprender qué es una computadora moderna y cómo trabaja; recomendando al que ya conoce el tema, que inicie su vuelo y salte páginas, desde este momento hasta la página en que se aporte algo nuevo a su conocimiento... esta será la mayor pérdida sufrida por el lector iniciado, en beneficio de los que no lo están.

3A. Estructura de una computadora.

La figura que presentamos a continuación, muestra esquemáticamente las partes principales de una computadora. La mayoría de la gente piensa que las computadoras son calculadoras de alta velocidad. Comenzaremos nuestra descripción modificando esta noción: Las computadoras son máquinas que llevan a cabo instrucciones recibidas del exterior, las que han sido puestas o almacenadas en su programa de actividades y en el idioma o lenguaje especial, conforme al tipo de máquina utilizado.

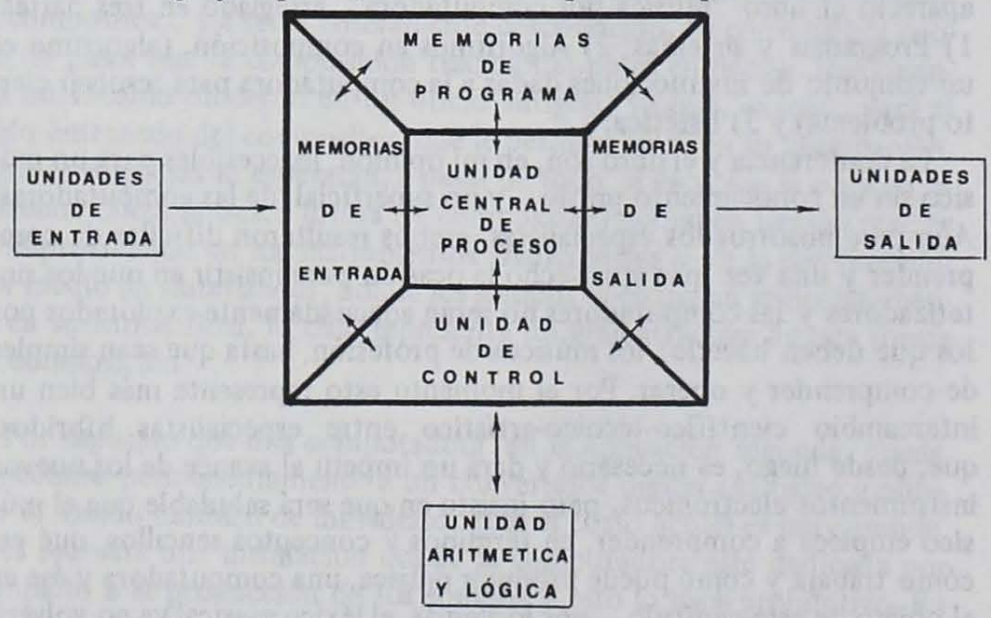


Figura V.2 Esquema constitutivo de una computadora.

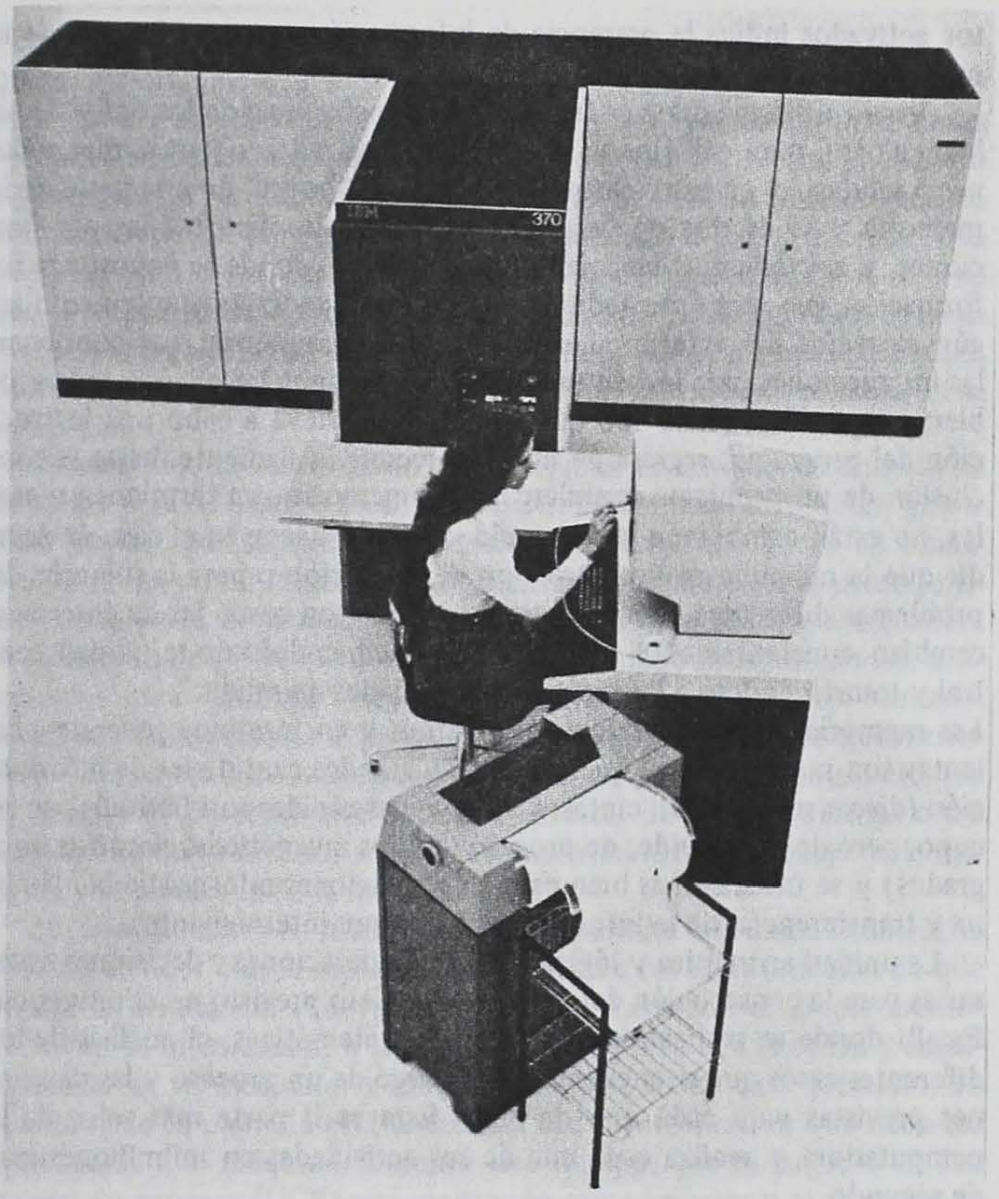


Figura V.3 Un modelo comercial de computadora. Nótese a la operadora trabajando sobre la pantalla, mediante el "lápiz luminoso".

Vamos a ver suscintamente cada parte de que consta la computadora:

Entrada de la información exterior

Unidades de entrada: Son el medio para introducir a la máquina la información externa que va a ser procesada y también los programas que serán almacenados en la memoria, en espera de su utilización. Esta entrada se realiza por máquinas capaces de leer algún medio mecánico susceptible de convertirse en electricidad, como perforaciones (tarjetas o cinta perforada), magnetismo (cinta, disco o letras magnéticas) etc. También es posible introducir la información mediante un teclado alfanumérico o por la pantalla, como se ve en la figura del modelo comercial (IBM-370/158).

Depósito de la información en el interior de la máquina

Memorias o almacenamiento: La información recibida procedente de la entrada, es depositada o almacenada en las llamadas memorias. Hay varios tipos de memorias, pero en términos generales funcionan activando algún elemento electromagnético de la máquina: puntos magnéticos en los discos o bandas magnéticas, magnetización de anillos, activación de transistores o circuitos integrados, etc. La detección de dichos elemen-

tos activados indica la presencia de información o memorización de la misma.

Dentro de la máquina es frecuente la transferencia de los datos de un lugar a otro, para cálculos en las áreas especializadas, o para comparaciones o salidas... y en estos casos, si procede, se "borra" de una parte de la memoria y se escribe en otra. Las memorias son distribuidas por funciones, y así tenemos: las memorias de entrada, donde se deposita la información que será procesada y que está cambiando constantemente según se recibe del exterior. Las memorias de programas, que contienen las instrucciones para la máquina, sobre lo que debe hacer para cada problema específico (cada vez que la máquina lleva a cabo una instrucción del programa, regresa de nuevo a recibir la siguiente, hasta la conclusión de un problema completo); estas memorias, en términos generales, no están cambiando su contenido, sólo lo hacen en el caso de decidir que la máquina realice otro tipo de operación o para la solución de problemas diferentes. Las memorias de salida son como las de entrada y cambian constantemente su contenido, recibiéndolo de la unidad central y transfiriéndolo a las máquinas o unidades de salida.

Memorias rápidas y lentas

Las memorias pueden ser rápidas o lentas, y en términos generales, las lentas son masivas o sea, que almacenan grandes cantidades de información (discos magnéticos, cintas, bandas) y las rápidas son limitadas en su cupo, pero de gran rapidez de proceso (anillos magnéticos, circuitos integrados) y se utilizan más bien para las operaciones internas de la máquina y transferencias de la información (siempre internamente).

La unidad especializada en matemáticas y lógica

La unidad aritmética y lógica realiza las operaciones y decisiones necesarias para la consecución del proceso completo previsto en el programa. Es allí donde se realizan las operaciones matemáticas, el análisis de los diferentes casos que se encuentran a lo largo de un proceso y las decisiones previstas para cada uno de ellos. Esta es la parte más veloz de la computadora y realiza cada una de sus actividades en milmillonésimas de segundo.

La unidad que supervisa la corrección de las operaciones

La unidad de control vigila que las operaciones de entrada, de salida, aritméticas y lógicas y la comunicación al exterior, se realicen coordinadamente y en orden absoluto (debe pensarse que las computadoras modernas realizan varias operaciones a la vez en forma combinada, por ejemplo se pueden llevar diez aplicaciones diferentes procesándose "simultáneamente", bueno, son secuenciales es decir, una tras otra, pero el observador externo las ve desarrollarse simultáneamente en virtud de la enorme velocidad de la máquina, y para fines prácticos se considera que todas marchan a la vez. En realidad, la computadora atiende un instante a cada unidad y la libera mientras realiza independientemente sus operaciones lentas, como leer, imprimir, o grabar en cinta magnética, etc., esto se llama multiproceso o multiprogramación).

Todas las unidades vistas con anterioridad, excepción hecha de la entrada, estan contenidas en la llamada "Unidad Central de Proceso" (CPU *o central processing unit*), que viene a ser el cerebro de la máquina.

Controles de detección y

En todos los circuitos que la computadora contiene, existen detectores de errores, para verificar que la información desde su entrada, durante su proceso y hasta su salida, sea absolutamente confiable. La má-

quina generalmente puede reconstruir una cierta información que conforme a los controles, indique ser errónea, ya sea leyendo varias veces la información original que se está recibiendo, o bien calculando algún número perdido en base a las cifras de control (que se generan automáticamente para cada número en proceso) o sea, por acceso a la memoria para consultar la información original correcta. En el caso de que la reconstrucción sea imposible, la máquina tiene elementos de aviso al exterior para solicitar la estrategia adecuada para cada caso particular, pero para fines prácticos, puede considerarse que la computadora no se equivoca.

corrección de errores

Finalmente, la información ya procesada es enviada a las unidades de salida para su destino final: impresión, perforación de tarjetas, grabación (digital, por supuesto) de cintas magnéticas, etc. Tanto las unidades de salida como las de entrada, tienen su memoria local, como lo vimos en la parte de la memoria, y un pequeño procesador que transfiere el contenido de dicha memoria a los mecanismos correspondientes, activándolos para traducir el lenguaje de la máquina al lenguaje humano, como en las impresoras y pantalla luminosa, o simplemente transfiriéndolo a los mecanismos encargados de grabar, perforar tarjetas, etc. (en la entrada es precisamente en forma inversa: de los mecanismos o del lenguaje humano exterior se realiza la transferencia al lenguaje de la máquina y se almacena en la memoria local).

Salida de la información ya procesada

El procedimiento de memorias locales, permite a la unidad central de proceso atender con su rapidez característica a todas las unidades de que conste la instalación (que pueden ser docenas), con el simple recurso de enviar la información a la memoria local junto con la orden y características de su ejecución y así por ejemplo, en un caso rutinario, un operador de la pantalla está tecleando cierta información que debe ser introducida a la máquina. Durante este tiempo, que es largo, la unidad central de proceso (UCP) está realizando otros trabajos y ni se ocupa de la pantalla. Mientras tanto, la información que el operador teclea se va depositando en la memoria local de la pantalla. Al término de la información tecleada, se aprieta un botón que indica que este trabajo está a la disposición de la UCP, y casi instantáneamente (por el tiempo necesario para formarse en la cola de trabajos de la UCP y llegar a su turno) la UCP toma el contenido de la memoria local de la pantalla y la transfiere a la memoria de proceso, donde, conforme al programa que se está corriendo, se utilizará en el momento oportuno. Una vez utilizada, procesada y resuelta la información, es enviada (normalmente por bloques) a las unidades de salida y depositada en las memorias locales, desconectándose enseguida la UCP y dejando nuevamente el proceso lento a la unidad que recibió la información y a su pequeño procesador local.

Las memorias locales permiten a la UCP trabajar en multiprocesos

3B. Lenguaje de la computadora.

¿Cómo realiza la máquina las operaciones? y ¿cómo sabe la forma en que debe llevar a feliz término cada uno de los problemas que se le proponen, sobre todo considerando que procesa multitud de ellos a la vez?. Esta parte es tan importante como la máquina misma y es todo un sistema altamente elaborado y las más de las veces vendido o rentado al igual

El programa indica la secuela del proceso a la UCP

La programación es tan

importante como la misma computadora

que la máquina. Su nombre en inglés es *"Software"* (en oposición a *hardware* o maquinaria) y se podría traducir como programación.

Al comprar una computadora (o alquilarla, que es el caso más frecuente) se recibe sin que pueda hacer nada en absoluto; algo así como un poderoso autómata con el cerebro en blanco, el que debe ser llenado por el usuario a través de una serie de programas especializados en sus necesidades específicas. Los programas los puede realizar el usuario y normalmente tomará meses o años para llevarlos a cabo, o puede rentarlos a los especialistas (casi siempre los mismos fabricantes del equipo) y sólo hacerles los cambios para sus problemas particulares; aún así, es un problema complejo que llevará tiempo.

Un programa es una serie de instrucciones secuenciales para desarrollar un trabajo específico. El procedimiento de desarrollo se llama algoritmo y está compuesto de una serie de órdenes almacenadas en la memoria central de la máquina.

El lenguaje de la computadora es el binario o de dos estados

La computadora va tomando una a una las instrucciones y las va ejecutando hasta llegar al resultado previsto por el programador. Ahora bien, la computadora no habla el mismo lenguaje de los humanos sino que tiene su lenguaje propio llamado binario, o sea, a base de dos estados solamente, a diferencia de nuestro sistema de diez dígitos o decimal. El sistema binario es la forma natural de comportamiento de muchos elementos mecánicos, eléctricos y magneticos que constituyen la computadora, y así, por ejemplo: si es un transistor y está en estado de no conducción se dice que su valor es de cero, y si está conduciendo se dice que su valor es 1. El transistor sólo tiene dos estados normalmente: o conduce o no conduce la corriente eléctrica, y lo mismo puede decirse de los elementos magnéticos: o están magnetizados o no lo están y también de la tarjeta perforada: o tiene perforación o no la tiene; o de un interruptor: o está cerrado o está abierto. De esta situación se ha derivado todo un sistema de álgebra y lógica binarias (álgebra booleana) y todas las computadoras hacen uso de ella. Boole fue un matemático y lógico inglés del siglo pasado, creador de la lógica simbólica.

El binario y su equivalencia decimal

Para facilitar la comunicación con el exterior y lograr una equivalencia entre nuestro sistema decimal (humano) y el sistema binario (máquina), se han ideado varios sistemas de relación mutua, siendo los más comunes el binario codificado decimal y el hexadecimal, en el que se agrupan los elementos mecánicos, magnéticos o eléctricos de cuatro en cuatro (cada uno de ellos recibe el nombre de bit, de la contracción de las palabras inglesas *BInary digiT* ó digito binario) y así tendremos que si a la activación del elemento se le designa como valor 1 y al elemento inactivado se le designa cero, la agrupación de cuatro en cuatro de tales elementos nos proporcionará un sistema decimal completo, como lo indica la tabla, y aún nos sobrarán combinaciones posibles, las que se usan hasta el número 16 y de allí el nombre de hexadecimal.

Los bits

Se entiende que para la formación de cantidades superiores a 15, los bits se agruparán de cuatro en cuatro, formando lo que se conoce como palabras, siendo las más comunes de 16 bits.

0000=0	1000= 8
0001=1	1001= 9
0010=2	1010=10
0011=3	1011=11
0100=4	1100=12
0101=5	1101=13
0110=6	1110=14
0111=7	1111=15

Tabla de valores binarios y decimales

Estos sistemas permiten que cada quien, hombre y máquina, hablen su propio idioma y sólo requieran de un traductor que los interconecte.

3C. Principios de Operación de las computadoras.

Ya hemos comenzado a esbozar ciertos tipos de operaciones que realiza la computadora en ciertas condiciones. Vimos así, que se requiere que en la memoria de programas sean depositadas las instrucciones en el idioma propio de la máquina. Los programas son elaborados en el idioma humano, después de haber realizado un análisis minucioso de las operaciones necesarias (lógicas y matemáticas) para la solución del problema que se trate. El programa se introduce en la máquina simultáneamente con otro que funciona como traductor. A este paso se llama compilación y equivale a la traducción de cada instrucción de lenguaje humano a lenguaje máquina. El programa traductor se llama compilador o ensamblador, en la jerga informática, y da como resultado final un programa en lenguaje máquina que ya puede ser depositado en la memoria de la computadora para su funcionamiento normal. Después de esto, ya se pueden cargar los datos del problema específico a resolver y se dice que la computadora ejecuta el programa, o en otras palabras, que la máquina ya toma el control completo del problema. En casos especiales, y cuando el programa es muy voluminoso, suele partirse en los llamados sub-programas, los cuales son llamados en el momento que se necesitan por el programa principal, se ejecutan sus instrucciones y son devueltos a su lugar en la memoria, donde se almacenan en espera de otra ocasión en que se les necesite.

El programa se escribe en lenguaje humano y se traduce al lenguaje máquina

Los programas grandes se parten en fracciones

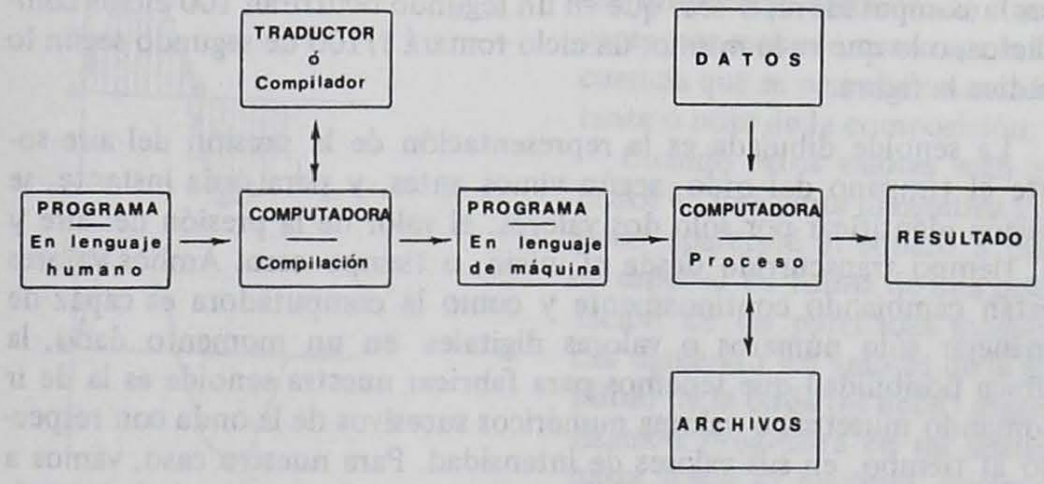


Figura V.4 Secuencia para generar un programa.

Rutina de operación de la máquina

Lo que resta de la operación de la computadora ya es rutina: se le introducen los datos del problema y en la UCP se realiza el proceso, conforme al programa en memoria y a los archivos magnéticos, si se requieren. El resultado final se envía al exterior mediante las unidades de salida que tenga la instalación. Este proceso se repite una y otra vez, por miles o millones de veces. Los casos excepcionales, no previstos en el programa, harán que la máquina avise al exterior o que produzca resultados absurdos, lo que obligará a revisar el programa y a efectuar la inclusión de tales casos. El proceso de depuración, como es llamado, toma a veces varios años, para que el programa pueda resolver todos los casos que se presentan en la práctica.

Valores digitales y analógicos

Debe quedar claro en todo momento, que estamos hablando sólo de números o dígitos y que por esta razón la computadora se llama digital, en oposición a otro tipo de mecanismos que funcionan por analogía con ciertos elementos físicos, como distancias, brillantez, colorido, etc., y que se denominan analógicos.

La diferencia entre digital y analógico es simple de comprender si se piensa en los relojes que dan la hora numéricamente (digital), en lugar de darla con referencia a la posición o distancia recorrida por las manecillas dentro de un círculo o cuadrante (analógico). Esta advertencia debe tenerse presente en todo momento en el ejemplo que pondremos a continuación y que es fundamental para comprender como pueden fabricar sonidos las computadoras digitales. El ejemplo está ultrasimplificado para facilitarle al lector su completa comprensión.

4. La computadora usada como instrumento musical

De las múltiples aplicaciones que en la actualidad tiene la computadora en el ámbito musical (se usa para el análisis, en la musicología, en la comparación de estilos y su catalogación, en transcripciones de tablatura antigua a notación moderna, en la reconstrucción de obras antiguas...) sólo veremos su aplicación directa a la producción de sonidos.

4A. Forma de producir los sonidos digitalmente.

Fabricación de una senoide con números

Vamos a suponer que deseamos producir una onda senoidal de 100 hertz en la computadora, o sea, que en un segundo ocurrirán 100 ciclos completos, o lo que es lo mismo, un ciclo tomará 1/100 de segundo según lo indica la figura.

Con sólo dos valores se puede definir en un instante dado

La senoide dibujada es la representación de la presión del aire sobre el tímpano del oído, según vimos antes, y para cada instante, se puede identificar por sólo dos valores: el valor de la presión del aire y el tiempo transcurrido desde el inicio, o tiempo cero. Ambos valores están cambiando continuamente y como la computadora es capaz de manejar sólo números o valores digitales en un momento dado, la única posibilidad que tenemos para fabricar nuestra senoide es la de ir

Se toman muestras sucesivas de estos valores

tomando muestras o valores numéricos sucesivos de la onda con respecto al tiempo, en sus valores de intensidad. Para nuestro caso, vamos a decir que la senoide quedará representada por diez muestras de intensidades en su ciclo positivo y diez en el negativo, por lo que en un centé-

simo de segundo tendremos 20 valores numéricos de la onda y en un segundo 2000, los cuales se repetirán continuamente por el tiempo deseado.

Este muestreo (*sampling rate*, en inglés) es, en un caso típico de un programa musical en computadora de 40,000 palabras (de 12 a 14 bits) por segundo. Debe advertirse que esta precisión se usa únicamente para la obra terminada, ya que en el curso de la composición y los "ensayos" es suficiente con sólo 15,000 muestras/seg., que si bien produce distorsión en los sonidos, da una buena imágen de la obra y en cambio economiza enormemente el tiempo de computadora. Cabe aclarar también, que si el sonido se desea en estéreo, será requisito el llevar dos cantidades, una para cada canal.

El muestreo típico es 40,000 muestras por segundo

Esta senoide no quedará representada en la computadora por una onda, tal y como puede quedar en una cinta magnética sonora o en un disco de música, directamente por las vibraciones, sino por una lista de valores numéricos para cada fracción de segundo en función del número de muestras tomadas. Se podría pensar que es más práctico almacenar la fórmula matemática de la onda (senoidal, exponencial, etc.), pero el espacio economizado en la memoria tendría que ser pagado con un tiempo enorme de computación para obtener los valores de la onda a partir de tal fórmula en comparación con la sola consulta de una lista de valores que se repetirán en forma periódica para cada ciclo de la onda. Dicho en otras palabras, para todas las formas de onda que se deseen tener en la computadora, se almacenarán los valores de un ciclo de cada una de ellas con el muestreo escogido. La frecuencia o altura se logrará leyendo ese único ciclo almacenado, tantas veces por segundo como sea la frecuencia que se necesite en cada instante o nota de la composición.

Las ondas se representan por sus valores numéricos

Se almacenan los valores de un ciclo para cada onda deseada

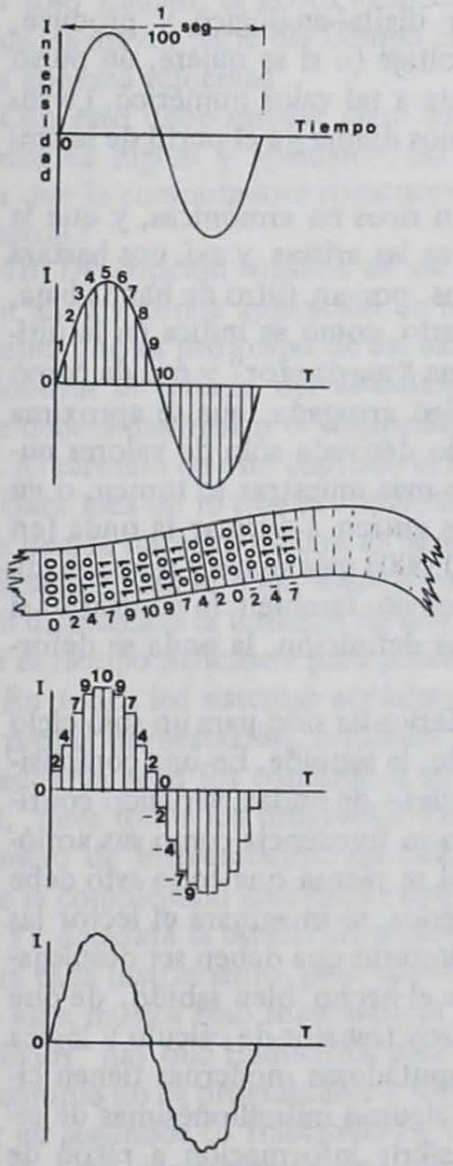


Figura V.5 Formación de una senoide con valores numéricos.

Cuando estos valores sean grabados en una cinta magnética tampoco aparecerá el sonido u onda en especial en forma de una orientación de las partículas magnéticas siguiendo los valores de la amplitud de la onda (es decir: magnetización progresiva en un sentido hasta llegar al máximo, inversión de la magnetización y disminución progresiva hasta llegar

a cero y al mínimo negativo, nueva inversión de la magnetización, lo que era norte ahora es sur y viceversa, progresión en la nueva magnetización y reinicio del ciclo), sino que serán sólo puntos magnetizados y desmagnetizados en el óxido de la cinta, obedeciendo al código binario para la representación numérica de los valores de la amplitud de la onda en cada instante escogido, conforme al número de muestras decidido. La siguiente fracción de la figura nos da una representación esquemática de los valores digitales grabados en la cinta (si pudiera verse la magnetización) en su forma binaria y con sus valores decimales indicados al pie. Si esta cinta se pasa ahora por un traductor de dígitos binarios a sus valores analógicos (convertidor D/A), cada valor digital binario, será convertido en un valor de voltaje correspondiente al indicado por el número binario, es decir: cero binario = 0 volts; 4 binario = 4 volts; 7 binario = 7 volts., etc., obtendremos así una serie de valores como los indicados en la siguiente fracción de la figura en la que, para visualizarlos mejor, se han representado como una serie de pulsos sucesivos con los valores numéricos (ahora ya de voltajes) de la onda.

El convertidor D/A convierte números a volts

El traductor es llamado convertidor digital-analógico y produce, por cada valor numérico, un valor de voltaje (o si se quiere, un pulso eléctrico) con la amplitud correspondiente a tal valor numérico. La sucesión de los valores de voltaje o pulsos, nos dibuja ya el perfil de la amplitud de la onda senoide.

Recordemos ahora que los pulsos son ricos en armónicas, y que la pérdida de las de alta frecuencia redondea las aristas y así, nos bastará pasar la secuencia de los pulsos obtenidos, por un filtro de banda baja, para eliminarle las armónicas y redondearlo, como se indica en la última fracción de la figura. El filtro se llama "suavizador" y nos da como resultado una onda continua, aunque algo arrugada, que se aproxima mucho a la senoide original y que ha sido derivada sólo de valores numéricos. Es fácil de intuir que mientras más muestras se tomen, o en otras palabras, mayor número de pulsos entren a formar la onda (en nuestro caso fueron sólo 20, en vez de 40,000) más suave y aproximada a la senoide perfecta será al final; siendo obvio también lo contrario: si no hay pulsos suficientes para una buena definición, la onda se deformará, distorsionando el sonido.

Los pulsos en volts se suavizan con un filtro

Detengámonos un instante, todo lo anterior ha sido para un solo ciclo de una sola onda y la más simple que existe: la senoide. En una composición formal entran en juego cientos –o miles– de ondas, variando continuamente en fracciones de segundo, tanto su frecuencia como sus armónicas, intensidades, envolventes, etc., y si se piensa que todo esto debe ser expresado finalmente en forma numérica, se imaginará el lector las capacidades formidables de proceso y cómputo que deben ser desplegadas para lograrlo. No insitiré mucho sobre el hecho bien sabido, de que la computadora puede realizar voluminosos trabajos de cálculo y lógica gracias a su enorme velocidad. Las computadoras modernas tienen ciclos (tiempo de operaciones básicas) de algunas milmillonésimas de segundo (nano segundos) y pueden transferir información a razón de varios miles de millones de bits por segundo, a tal grado, que en unos pocos segundos realizan operaciones que le tomarían toda la vida

Complejidad numérica de los sonidos

Algunos ejemplos de velocidades de la computadora

a un ser humano para llevarlas a cabo. Ya vimos que la rapidez es tan grande que pueden realizar simultáneamente varios trabajos complejos, aprovechando la lentitud de las unidades de entrada, salida y proceso (lentitud respecto a la UCP, pues una impresora tendrá como promedio una velocidad de 1000 líneas de 132 letras o números por minuto, una lectora de tarjetas de unas 1000 tarjetas de 80 columnas por minuto y así las demás unidades). También el costo corresponde a la velocidad, y es tan alto, que para que sea rentable se debe aprovechar a su plena capacidad y procurar que no este ociosa ni el menor instante. Para esto, se aprovecha su capacidad de multiproceso en lo que se llama utilización en tiempo compartido, es decir que varios usuarios se conectan a ella por medio de terminales y como la velocidad es tan grande, cada usuario tiene la ilusión de que la máquina está trabajando para él solo por la velocidad de obtención de los resultados. Puede decirse que esta es la forma de utilización más común para la composición musical, de una computadora mediana o grande ya que si se utilizara "dedicada" a este sólo trabajo, el costo excedería todo presupuesto, y de cualquier modo, la mayor parte del tiempo estaría ociosa, esperando al compositor y su humana velocidad.

Para aprovecharla se hace trabajar en tiempo compartido

Si se le utiliza "dedicada" su costo es prohibitivo

Con esto debe quedar claro lo que es una computadora y los conceptos de digital y analógico, así como también la velocidad y modo con que la computadora construye ondas sonoras en base a números solamente.

4B. Descripción sumaria de un programa tipo para producir música. Aún en la segunda aplicación de la computadora, vamos a describir un sistema que es prototipo de los usados para generar música en ella. Para redondear el criterio del estudiante, incluiremos también la actividad que deberá desarrollar el compositor para realizar su obra en forma digital. Al término de este capítulo el lector deberá tener una elemental, pero clara idea de lo que es componer por medio de una computadora. El que decida hacerlo, hallará al final del capítulo fuentes de información suficientes para el buen logro de su proyecto... siempre y cuando tenga a su disposición la terminal de una computadora del tamaño necesario y por el tiempo suficiente para procesar el programa.

Programa de la serie "Music"

En todos los sistemas actualmente en uso, el compositor estructura su propia orquestación, mediante los instrumentos por él mismo especificados ya sean los contenidos en el programa o bien de diseño personal, pues todos los programas dan esta facilidad. Por lo que respecta al número de instrumentos, no existe ninguna restricción, pero es obvio que la complejidad aumentará con el número de ellos.

El compositor forma su propia orquesta

Ya decidida la estructura orquestal, se procede a escribir la partitura para cada instrumento, pero como la computadora —aún con programa— no sabe música sino matemáticas y lógica, muchos conceptos musicales "obvios" hay que traducirlos para que sean comprendidos por ella. Así, el compás no es programable y hay que convertir todas las notas a su valor en segundos (o fracciones) y arreglarlas cronológicamente. La dinámica debe convertirse a una escala numérica también y así sucesivamente, siguiendo las instrucciones dadas por el autor del programa que se escoja para componer la obra.

La partitura debe ser hecha en la lógica de la máquina

Se requieren varios procesos previos a la composición final

Todo lo anterior, como se verá adelante, requiere que se realicen varias pasadas en la computadora (entrada-proceso-salida) para que la información final de entrada, previa a la composición, sea consistente y llene todos los requisitos previstos para que la máquina acepte componer y producir los sonidos que se le están indicando. Además, es necesaria una precisión cronométrica en todas y cada una de las especificaciones dadas, a diferencia de las que se le dan a un intérprete profesional de música tradicional, que toma decisiones y rellena multitud de pequeños olvidos y situaciones obvias o imprecisiones del compositor, amén de todo aquello que está sobreentendido para un músico y que el compositor ni lo toma en cuenta.

La computadora no tiene iniciativa

Una computadora ni sabe música ni perdona el más mínimo olvido ni conoce la palabra obvio, y si tiene una duda no inventa ni improvisa, simplemente rechaza y hay que corregir el descuido.

Es necesaria una precisión extrema

Todo lo anterior implica la necesidad de un ordenamiento preciso de las ideas musicales que se desean realizar para poder lograr un resultado óptimo en la computadora, una verdadera sistematización de todos los pasos requeridos y una meditación profunda de lo que se desea obtener... todo esto existe siempre en la vida diaria cuando se desea llevar a cabo algo, conforme puede observarse en los niños cuando realizan, con grandes dificultades, algo por vez primera, lo que sucede es que la práctica y los reflejos adquiridos por el ser humano, dan por hechas una serie de consideraciones y acciones que la máquina simplemente no puede considerar obvias, pues no las ha realizado jamás ni tiene mecanismos de aprendizaje.

En la vida diaria se dan por hechas cosas sobreentendidas, que no lo son para la computadora

Recuerdo que en las clases de computación que dábamos a los principiantes, la primera siempre consistía en pasar a uno de los estudiantes noveles al estrado y se le pedía que ordenara al profesor que se quitara el saco, pero no con esta simple frase global, que implica toda una serie de consideraciones obvias, sino indicando todos y cada uno de los pasos con la lógica requerida, la orientación de los movimientos, su amplitud, en fin, sistematizando todas las acciones necesarias para esta operación tan simple. El resultado fue –sin excepción– que el maestro quedaba hecho un verdadero nudo con el saco, pues todas las ordenes eran ambiguas en su contenido y el maestro –con toda la intención– interpretaba al pie de la letra la orden recibida. Algunos lectores pensarán que exagero, pues bien, realicemos un corto experimento: escriban aparte, en una hoja, todo lo que consideren que es necesario para definir una simple nota musical y después comparen con la lista siguiente.

Definición de una simple nota musical

Quizá nunca se profundiza en qué tan compleja es una simple nota musical, hasta que se requiere especificarla a una computadora para que suene como se le imaginó, y así deberemos definir:

a) Su altura o frecuencia en hertz
b) la duración en segundos y fracciones
c) el timbre: composición en número, amplitud y fase de las armónicas naturales de la fundamental, y de las inarmónicas si se desean, para la nota dada
d) tiempo de ataque
e) tiempo de decaimiento

f) forma de la envolvente: lineal, exponencial o especial
g) intensidad o volumen sonoro
h) si se produce con trémolo o vibrato (AM o FM), y las características en hertz y amplitud de las ondas moduladoras.
i) si se une con la nota anterior en glissando o no. En el primer caso, dar intervalo y duración del glissando
j) si se desea reverberar: tiempo y amplitud de la reverberación
k) si se desea filtrar: especificar la clase de filtro y la frecuencia de corte (banda baja, alta, pasabanda o eliminación)
l) la cantidad o dosis de ruido, para darle naturalidad, especificando la banda y amplitud de tal ruido
m) su localización espacial en 5 puntos diferentes de la "orquesta"; y finalmente
n) si la nota es temperada y se requiere corrección de frecuencia para que suene en perfecta afinación, o si se desea microtonal, dando la frecuencia exacta.

Supongo –aunque no lo juraría, pues en algún caso especial se requerirá algún otro dato– que la lista es completa, y mejor sería decir exhaustiva... pero quizá en el sentido de dejar exhausto al lector.

Se debe "ensuciar" al sonido para hacerlo sonar natural

Entre paréntesis, es notable que dada la perfección de los elementos que producirán el sonido final en una computadora, haya que introducir elementos programados de imperfección (ensuciar el sonido) para hacerlo parecer más natural.

Y... no se me ha olvidado: ¿qué tan cerca llegó el lector a los elementos de una nota?.

A la fecha se han intentado introducir varias discontinuidades en las ondas y también frecuencias inarmónicas, sin mucho resultado práctico; pero se ha observado, sin embargo, que pequeñas cantidades de ruido hacen parecer más natural al sonido... como dice un autor (Strang) "Los oyentes y los músicos prefieren la imperfección, principalmente por que nunca han escuchado otra cosa."

Los sistemas existentes están completos y el compositor puede componer de inmediato

En los programas de computadora que nos ocupan, los problemas anteriores han sido resueltos por el ingeniero, el analista y el programador, y en los sistemas existentes, el compositor sólo tiene que escoger entre los varios elementos que se le ofrecen, suficientes en exceso para cualquier tipo de composición imaginable, por así decir: llegar y escoger en una mesa ya servida. Todas las funciones estarán depositadas en algún lugar de la memoria y esto se ha logrado a través del programa, su generación y almacenamiento, a modo de que el compositor recurra a ellas cuando sea necesario en el transcurso de la composición. Algunas funciones son calculadas matemáticamente por la máquina y otras se han calculado con anterioridad y los resultados depositados en la memoria, para evitar cálculos complejos que serían siempre los mismos cada vez, como en el caso de las diferentes formas de onda de que se puede disponer.

Prácticamente 512 valores numéricos definen las funciones almacenadas

En la práctica se ha encontrado que almacenando aproximadamente 500 valores de cada función (exactamente $2^9=512$ en términos binarios), se obtienen resultados satisfactorios, y este número se ha adoptado como norma por muchos programas. En el caso específico de una onda senoide pura, se almacenan 500 valores definiendo el ciclo com-

pleto de la onda. Ahora bien, dependiendo de la precisión deseada, cada uno de estos valores no será un solo número sino una cantidad grande de ellos, siendo lo más usual 12 y aun 16 bits cuando se desea precisión especial.

¿Cómo generamos con este único ciclo de la onda todas las frecuencias requeridas para una composición? Vamos a suponer que fijamos a la máquina una relación de 10,000 muestras por segundo. Si aplicamos este número de muestreo a los 500 valores de la senoide en la memoria, mediante un ciclo repetitivo, o sea, ordenamos a la máquina que lea 10,000 veces, una vez cada valor, los 500 valores en la memoria, al término de la lectura de los 500 valores la máquina recomenzará hasta llegar a las 10,000 lecturas, esto significa que los valores serán leídos 10,000/500 veces o sea 20. Posteriormente este número se producirá en un segundo de tiempo y su valor será, naturalmente una senoide de 20 ciclos por segundo o hertz. Supongamos que ahora ordenamos a la máquina que lea alternadamente los valores, es decir, uno si y otro no. Al realizarse la lectura, habremos generado una frecuencia de 10,000/250=40 hertz. Si deseamos 100 hz. será un valor si y cuatro no, y así sucesivamente.

El muestreo mínimo válido para fidelidad es de 40,000 muestras por segundo

Tal muestreo, para ser prácticamente válido, deberá ser del doble de la frecuencia más alta que se desea generar, a modo de tener a lo menos, dos muestras por ciclo. Podría pensarse que este muestreo es ya demasiado bajo, pero si definimos el rango audible como extendiéndose, en números redondos, entre 20 y 20,000 hz., concluiremos que el muestreo mínimo fiel será de 40,000 muestras por segundo. Si recordamos el capítulo de acústica, podremos observar que arriba de 4,000 hz. casi no llega ningún instrumento y arriba de 8,000 aunque hay muchos sonidos audibles, normalmente ya no son propiamente musicales, pues caen allí los ruidos, golpes, rechinidos y otros.

El estudiante avisado ya habrá pensado que las armónicas pueden fácilmente exceder los 8,000 y aun más hertz, pero en ese caso no escogeríamos una senoide pura para nuestro sonido, sino una onda compleja que posea naturalmente sus armónicas al ser convertida a audio y que serán independientes del muestreo. De todos modos, como ya se dijo antes, el número de 40,000 es elevado y se reserva para la obra final, teniéndose la alternativa de utilizar 15,000 muestras en la composición y los ensayos, lo que da una idea muy aproximada de la obra y reduce considerablemente el tiempo de computación.

En ensayos se usa un muestreo menor

El programa Music tiene 20 formas de onda y se pueden "fabricar", además, las que se deseen

En el programa Music, por ejemplo, se tienen 20 formas de onda diferentes para escoger, teniéndose en la memoria un solo ciclo de cada una de ellas con 500 muestras. Por lo demás, es posible sintetizar numéricamente ondas de todo tipo, mediante la definición de la fundamental y el contenido armónico (proporcionados por el usuario) incluyéndose en esta opción también ondas aperiódicas, o sea, que la forma de onda no es igual en cada ciclo. Se dispone también de ondas de muy baja frecuencia para producir modulación de amplitud (AM) y de frecuencia (FM) (trémolo y vibrato) hasta con tres componentes independientes en frecuencia, forma de onda y amplitud.

Todo esto parece bastante complicado... y en realidad lo es, debiendo ser una verdadero especialista el que se proponga hacer un programa para componer música en computadora, y además con una enorme facultad inventiva. Para nuestra fortuna han habido ya muchos que lo han resuelto, como lo indicamos con anterioridad, y podemos disponer de sus programas en la fase de producción práctica, como la serie Music, en sus versiones más modernas y versátiles: el Music V, el Música 360, el Musigol, Musicomp, Perform, Orpheus y Tempo, que pueden obtenerse a través de varias instituciones y universidades de Estados Unidos y Europa y nos evitan el trabajo de programar y la especialización implícita que va con ello.

Los programas se pueden conseguir ya en fase de producción

4C. Secuencia para la producción sonora en computadora.

Con las explicaciones anteriores, me parece que el lector estará en la posición de comprender la secuela completa requerida para que una computadora produzca música y que se puede resumir en forma sinóptica en la secuencia de la figura V.6, que nos presenta en tres grandes bloques la idea general de realización. Ya en forma más detallada y completa, desde la concepción primaria del problema, hasta la producción sonora por el compositor, se muestra en la figura V.7, para que el estudiante posea un panorama total del sistema. Los números corresponden a los de esta figura.

Secuela completa para producir música en una computadora

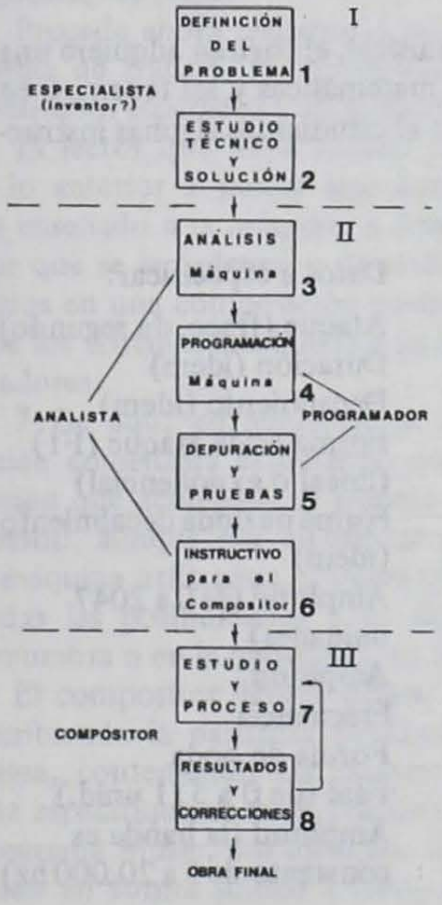


Figura V.6 Secuencia sumaria necesaria para componer música por computadora.

1. Definir completo el problema para la composición musical, hasta sus últimos detalles, incorporando todas las posibilidades y recursos actuales de la especialidad.

Definir el problema

2. Dividir el problema en bloques de trabajo o unidades de proceso, y diseñar para cada unidad la solución óptima ofrecida por los recursos de la máquina (normalmente hay varias soluciones para cada problema y en otros casos no es aparente ninguna y hay que "inventarla") Dibujar un "diagrama de bloque" para establecer la secuencia de operaciones que deberá realizar la máquina para las diversas soluciones obtenidas (similar al análisis de "fabricación" numérica de la onda senoide vista antes).

Dividirlo en bloques de proceso

3. Transcribir el diagrama de bloque a las instrucciones detalladas de la máquina para que esta realice sus procesos, en el

Programarlo en el lenguaje de la máquina

lenguaje escogido por el programador, normalmente el lenguaje es el llamado "Fortran", siglas de *formula translation*, concebido para la solución de problemas técnicos y científicos y de notación cuasi-humana para cualquier persona que conozca matemáticas. Este lenguaje indica las operaciones que se van realizando en la computador, aunque en una forma más bien simbólica y global, o sea que una sola operación en este lenguaje, será traducida y convertida por el "compilador" en varias operaciones elementales.

Para que el estudiante tenga una idea real del tipo de operaciones empleadas y las instrucciones equivalentes en fortran, anotaremos algunas: si tenemos dos números, A y B.

La suma se expresa igual que en aritmética: A+ B
La resta también: A–B
La multiplicación se expresa: A*B
La división: A/B
La elevación al cuadrado: A**2, B**2

En un caso práctico, la expresión $AxBx(^{C}/_{3})^{2}$, se expresaría en fortran como: A*B*(C/3)**2.

De hecho, el fortran es lo que se llama un "lenguaje–problema", concebido a partir de los lenguajes humanos y no es complicado el familiarizarse con él, en oposición a los llamados lenguajes máquina, donde se le indica a la computadora en su propio idioma binario la forma de proceder.

Ya en su aplicación a la composición musical, el fortran adquiere una estructura algo diferente de las fórmulas matemáticas y así tenemos, en el sistema Music 4, para darlas a conocer al estudiante, algunas instrucciones y sus significados:

Instrucción	Significado	Datos a especificar:
ENVLP	Generación de una envolvente (*envelope*)	Ataque (fracc. de segundo) Duración (idem) Decaimiento (idem) Forma onda ataque (F1) (lineal o exponencial) Forma de onda decaimiento (idem) Amplitud (de 0 a 2047 unidades)
OSCIL	Generación de una nota *(oscillation)*	Amplitud Frecuencia Forma de onda Fase (de 0 a 511 unid.)
RAND	Generación de ruido blanco (*Random noise generation*)	Amplitud (la banda es constante de 5 a 20,000 hz)

4. Convertir cada una de las instrucciones anteriores a un medio legible por la computadora, usualmente tarjetas perforadas.

Perforación del programa

5. Leer el conjunto de tarjetas (o cualquier otro medio que se haya utilizado) en la computadora, simultáneamente con el programa traductor especial llamado ensamblador o compilador, para que la misma máquina lo convierta al sistema binario, esto se realiza en dos pasos:

Traducción al sistema binario y depuración

a) Primera pasada: Detección de errores e inconsistencias del programa.

b) Ya sin errores: Traducción o transferencia al lenguaje de la máquina.

6. Una vez sin errores y en el lenguaje-máquina, el programa se carga en la memoria de la máquina, en la sección reservada a los programas. En este lugar quedará almacenado en la misma forma (secuencial) en que se escribió en el programa original. Cada una de las instrucciones tendrá ahora una ubicación precisa en la memoria, tanto las de los programas como las de los subprogramas, si los hay. Ya con el programa en memoria se procede a realizar pruebas de consistencia por medio de un trabajo prototipo o piloto, que incluya todos los casos posibles que se presentarán en la realidad. De estas pruebas siempre salen correcciones al programa, que obligan a realizarlas en algún paso anterior (normalmente en el 3), repitiéndose la secuela hasta que las pruebas son satisfactorias y el programa se considera correcto y listo para las aplicaciones reales.

El programa se carga en la memoria

Se realizan pruebas "piloto"

Procede ahora redactar el instructivo para el usuario, indicándole la forma de trabajo, las claves adoptadas, las precauciones a tomar y los resultados esperados y su interpretación.

Se procede a redactar el instructivo para el usuario

El lector que haya llegado hasta este punto, no debe desanimarse si lo anterior le parece algo complejo. De hecho, hasta aquí sólo se le ha enseñado a la máquina a desempeñar el trabajo de generar los sonidos que se le ordenen y de realizar todos los tratamientos sonoros previstos en una composición normal y esta labor ha correspondido en todos los sistemas existentes a la fecha a los ingenieros analistas y programadores.

7. De aquí en adelante, la labor es ya exclusiva del compositor, quien comenzará estudiando concienzudamente el instructivo de operación que acompaña al sistema y desde luego, deberá tener un conocimiento, aunque sea superficial del lenguaje y la sintáxis del programa y máquina utilizados, si desea obtener el máximo provecho a través de todas las posibilidades a su alcance; de otro modo, trabajará en la penumbra o en la oscuridad, en función de tales conocimientos.

El usuario conoce el sistema a través del instructivo

El compositor deberá definir con toda precisión su obra a realizar, escribiendo la partitura debidamente orientada a su proceso en la máquina, conteniendo las características expuestas anteriormente y las que especifique en el instructivo el autor del programa utilizado. En el programa Music, por ejemplo, se escogen los instrumentos y se estructuran en forma similar a como se hace en un sintetizador electrónico, o sea, en base a generadores donde se especifica la o las formas de onda que producirán en la computadora, estos osciladores reciben el nombre de generadores unitarios o unidades.

Escribir la partitura musical en términos de computadora

Como la partitura estará orientada a la forma de trabajo de la computadora, en lugar de compás llevará duración precisa en segundos y fracción para cada nota, las envolventes se identificarán, asimismo, en la forma anotada antes. Todos estos detalles los proporcionará con precisión el instructivo detallado que acompañará necesariamente al programa que se elija y el único requisito obligado de parte del compositor es que comprenda de qué le están hablando para poder saber lo que le piden.

Transcripción de la partitura a un medio legible por la computadora

8. Ya terminada la partitura, se transcribirá a tarjetas o banda perforada (son los medios más usuales). Si se trabaja con versiones que usan una terminal, esto podrá hacerse con un teclado alfanumérico, como de máquina de escribir, y también, si el programa lo tiene como opción, y esta es una fuerte tendencia en la actualidad, se podrá llevar a cabo en una pantalla (similar a la de un televisor), haciendo uso de un "lápiz luminoso".

Usualmente la partitura base para la computadora es un grupo de tarjetas que han sido perforadas previamente por el compositor y que contienen la información musical de la obra que va a ser procesada en la computadora y convertida finalmente en sonidos.

Algunos tipos de tarjetas

Para aclarar el tipo de tarjetas y la información que llevan, veremos algunas de ellas (siempre en el Music 4).

■ *Las tarjetas I* (instrumento), llevan la información siguiente:

Función=I — Amplitud en números de unidades.
Número de instrumento — Frecuencia en hz.
Tiempo del inicio — Ataque en segundos y fracción.
Duración en segundos y fracción — Forma de onda.

■ *Tarjetas F* (función), estas tarjetas cubren varias funciones, la escogida se debe especificar adecuadamente. Algunos ejemplos:

- función generadora de curvas exponenciales (para envolventes)
- función generadora de senoides
- función de sumas de senoides
- función incremento dinámico (crescendo)
- función decremento dinámico (decrescendo), etcétera.

Las tarjetas se perforarán con los datos siguientes:

Función=F — Duración
Tiempo del inicio — Identificación de la función

Por ejemplo, en la siguiente tarjeta se generaría una senoide pura:

Operación	Función	Inicio	Identific.	Amplitud (fundamental)
F	1	0	10.1	1

(El 10.1 se refiere a la onda senoide, según el programa)

La siguiente tarjeta:

F	3	0	10.1	4 1 2 3

generaría una senoide con sus tres primeras armónicas y con amplitudes relativas: fund=4, 1a. arm=1, 2a. arm=2, y 3a. arm=3

Otras tarjetas usuales son las llamadas T, para control del tiempo; las C, para comentarios y notas de orientación en el curso de la composición; las A y las B para operaciones especiales diseñadas o inventadas por el compositor; las S para indicar terminaciones de secciones musicales en la partitura, etcétera.

Se pueden dar los datos por teclado o pantalla

Para el caso de que el programa permita la opción de entrar por teclado alfanumérico o por pantalla gráfica, los datos serán tecleados o bien escritos sobre la pantalla con el lápiz luminoso indicando, por medio de curvas o por selección de opciones que aparecerán escritas en la pantalla: la frecuencia de la nota, la onda escogida, la dinámica de la composición, etcétera.

Conviene aclarar que el lápiz luminoso no es tal sino un "sensor" de luz que detecta, por medio de una fotocelda, las coordenadas de la posición del lápiz sobre la pantalla, estos datos son enviados a la computadora que identificará internamente de qué información se trata, para darle validez y hacerla intervenir en el proceso que se está realizando. A veces no se trata de gráficas o curvas, sino de palabras, valores, instrucciones y hasta subprogramas y como de la identificación de la información, mediante el lápiz, normalmente sigue la acción y aparece en la pantalla la confirmación de las órdenes o el resultado de la acción ordenada, la ilusión es que el lápiz lo escribió o realizó.

Cuando se traza o dibuja una nota en la pantalla, la duración la da la longitud de la línea trazada en la pantalla y la altura queda determinada por la posición vertical en un eje de referencia que indica frecuencias. Si se trabaja en la escala temperada y se desea evitar desafinaciones, se ordena a la máquina que cualquier imprecisión en el dibujo sea corregida, afinándose automáticamente al valor temperado correcto. Los silencios no existen como orden y son simplemente la ausencia de sonido en su representación gráfica. Adelante veremos con detalle la composición con pantalla, que es la tendencia actual predominante.

Antes de proceder al paso 9 siguiente, se carga el programa en la computadora, lo que la convierte de hecho en un instrumento musical.

Las tres corridas para la generación sonora conforme a la partitura

9. Enseguida, la partitura perforada en tarjetas, es introducida a la máquina. En el programa que estamos ejemplificando, se requieren tres "pasadas" en la computadora, antes de lograr la generación de los sonidos:

PASS-1:En esta pasada se lee la partitura y es sometida a una revisión minuciosa por la computadora. Se señalan los errores de sintáxis y en un listado se imprimen letras y números para su revisión y confirmación de los datos de entrada. En el listado quedan incorporadas las particularidades introducidas por el compositor en las tarjetas A y B. Las tarjetas C se imprimen como guía del compositor, pero no entran en el proceso.

PASS-2: Toma la partitura en el lugar dejado por pass-1 y continúa preparando a la computadora para la síntesis de la música. Convierte todos los tiempos en base a segundos y clasifica, en riguroso orden cronológico, todas las notas sonoras y los accidentes.

PASS-3: Se inicia en el final de pass-2. Esta es la "corrida" que toma más tiempo en la computadora, ya que es la encargada de procesar notas e instrumentos, generando ya los sonidos que son enviados (siempre digitalmente) a discos o cintas magnéticas, de donde eventualmente se extraerán para ser convertidos a sonidos reales con el convertidor D/A (digital-analógico).

En esta pasada se realiza una impresión donde todos los elementos de la partitura están ya consignados "en limpio", aunque aún en clave numérica.

La conversión de los sonidos numéricos a sonidos reales

10. La salida de la última pasada anterior ya es la obra musical, pero en forma enteramente digital, y para convertirla a sonidos reales, se deberá pasar por un convertidor digital-analógico (D/A), excepto en el caso de que la computadora lo tenga interconstruido, que normalmente no es el caso. El resultado de esta conversión será una cinta magnética similar a la producida por un magnetófono, y por supuesto, legible por él.

11. De la experiencia auditiva y el análisis de los resultados, se introducen modificaciones y ajustes en la partitura original y también en las tarjetas, y se repite la secuencia una y otra vez, desde el paso 7, o desde el 9 si son cambios mínimos, hasta lograr el resultado deseado. Esto concluye la utilización de la computadora como instrumento musical. La figura V.7 nos indica, en forma sumaria, el proceso descrito, que el estudiante debe comprender de corrido, sin regresarse al texto a consultar.

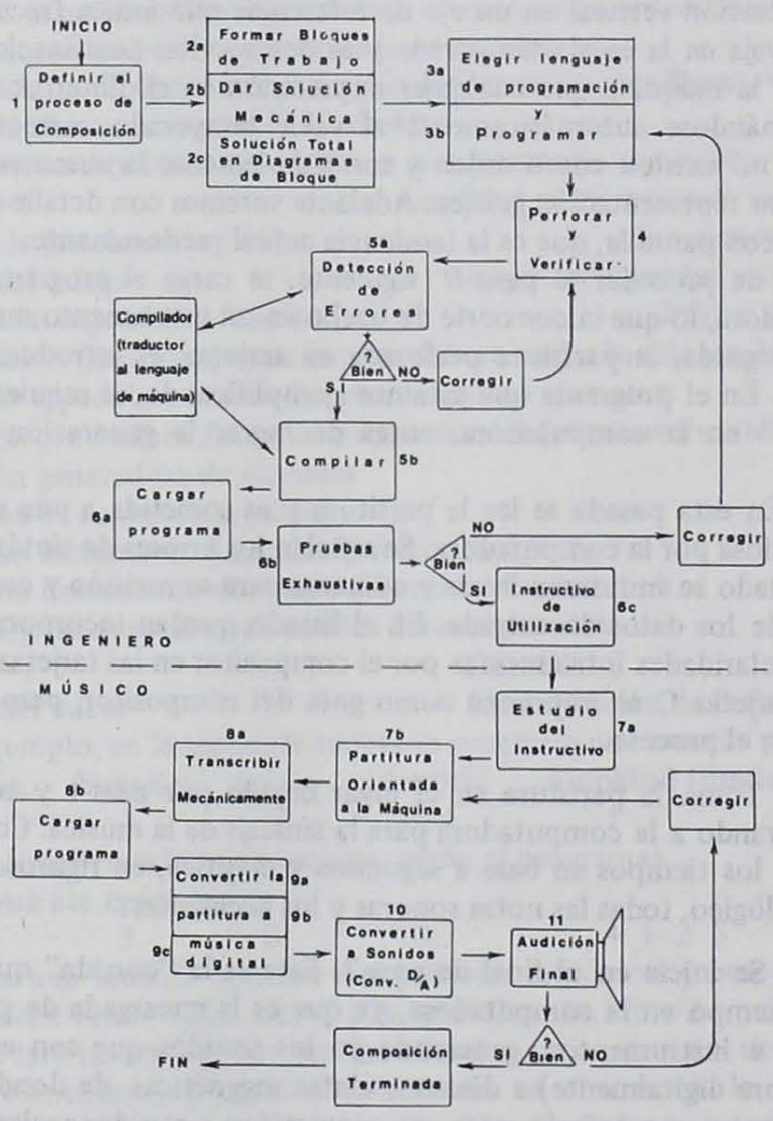


Figura V.7 Diagrama de bloque de la composición en computadora desde la concepción del sistema hasta la obra musical terminada.

La figura V.7 no es sino una extensión de la figura anterior (la V.6), con más detalle, y lleva la intención de que el lector practique la lectura de este tipo de diagramas, llamados de bloque, sin consultar el texto escrito. En la eventualidad de que tenga que componer en computadora, trabajará intensamente en esta forma sinóptica de representación de los procesos y sistemas, y también recibirá mucha información por este medio. Se aclara que el arreglo de las figuras puede ser cualquiera, siempre y cuando la secuencia de los procesos sea la adecuada, esto es lo más importante.

Más información sobre el tema

El lector que desee más información, puede estudiar los textos de Howe y también la parte de Rogers, en el libro de Appleton y Perera, consignados en la bibliografía, en los cuales se hace un análisis detallado del programa Music 4. Con esta pequeña introducción los comprenderán con facilidad, aunque también considero que estarán capacitados para los programas definitivos, mediante un estudio previo y concienzudo de los mismos. Quiero pensar que los conceptos que yo considero el elemento medular, han quedado claros, y si se tiene la computadora el camino recto son los programas definitivos y ponerse a trabajar.

El programa Music 7 y Music 4BF se pueden conseguir con Hubert S. Howe, Associate Professor of Music, Queens College of the City, University of New York.

El programa Music 360, para la máquina IBM del mismo número, o de la 370, más moderna, se puede conseguir con Barry L. Vercoe, Departament of Music, Massachusets Institute of Technology, Cambridge, Mass.

Mediante una solicitud oficial, se puede solicitar al IRCAM y a Radio France los programas utilizados para sus computadoras. Como el lenguaje Fortran corre en cualquier computadora, no habrá problema para implementarlo. Las direcciones son:

IRCAM (Institut de recherche et coordination acoustique/musique)
31 Rue Saint-Merri.
75004 Paris.

Radio France. INA-GRM (Institut National de l'Audiovisuel-Groupe de Recherches Musicales).
116 Ave. du Président Kennedy
75016 Paris.

No se debe crear por computadora si no se ha comprendido como trabaja

Deseo insitir en que la comprensión clara de lo que realiza la computadora dará al compositor los elementos necesarios para el dominio de estos nuevos recursos. La consideración de que así como los problemas acústicos son del ámbito del constructor de instrumentos musicales tradicionales, y no del compositor o ejecutante, así también, el análisis, programación y puesta a punto de una computadora para componer y producir música es del exclusivo dominio del ingeniero, y al músico le corresponde tan sólo la composición y ejecución en este nuevo instrumento musical, es una consideración muy discutible, ya que en un instrumento tradicional los sonidos están prefabricados y el músico los toma (o los deja) como son y están. En la computadora, él mismo los va a fabricar y a inventar en su absoluta complejidad. Pero hagamos parcialmente válida la consideración, y atendiendo a que existe una

poderosa tendencia a crear "minicomputadoras musicales", que no hacen sino eso, describamos, para cerrar este tipo de aplicación, un prototipo de estos instrumentos digitales, tal y como han comenzado a aparecer en el mercado.

4D. Las minicomputadoras como instrumentos musicales y la composición mediante pantalla gráfica y lápiz luminoso.

Minicomputadoras transformadas en instrumentos musicales

Estos aparatos son "representativos de una nueva generación de instrumentos musicales", al decir de Alles, de los laboratorios de la Bell, pionera en este tipo de aplicación; o como dice otro fabricante: "son instrumentos musicales verdaderos que usan técnicas de computadoras y no adaptaciones de computadoras creadas para otros fines y que se hacen operar como instrumentos musicales".

Una minicomputadora de este tipo posee la capacidad sonora de una orquesta sinfónica de tamaño medio, aunque se entiende que no para la imitación de sus sonoridades o técnicas de ejecución.

La figura siguiente nos muestra el diagrama estructural del instrumento:

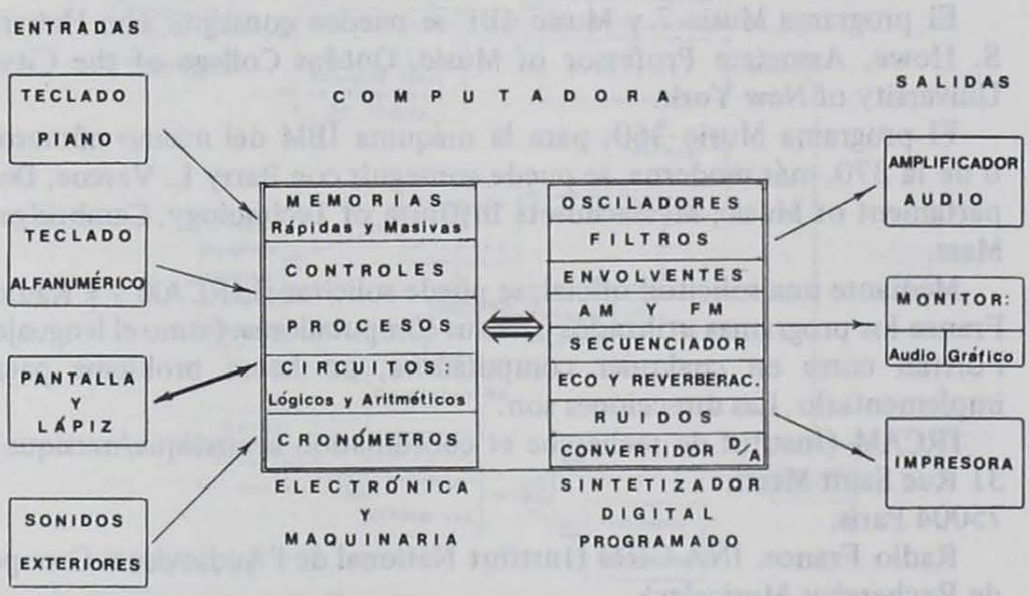


Figura V.8 Diagrama esquemático de una minicomputadora como instrumento musical.

La observación cuidadosa de la estructura ya nos dice mucho... y a los lectores que tuvieron la férrea voluntad de llegar hasta aquí, sin saltarse páginas (o capítulos completos), ya les dice toda la historia.

Produce los sonidos inmediatamente, como cualquier instrumento tradicional

La máquina, o mejor dicho el instrumento, produce los sonidos en tiempo real, pues posee interconstruido el convertidor D/A. El tamaño de la mayoría de ellos los hace portátiles, con la expresa intención de ser utilizados "en vivo".

Presentamos asismismo una fotografía para dar al lector una idea precisa de dos de tales aparatos, el de la Fairlight Instruments Co., de Australia, y el de la Bell Telephone Co., de Estados Unidos (en el cual los teclados musicales y alfanumérico pueden deslizarse hacia adentro para transportar al aparato).

Figura V.9 Dos minicomputadoras musicales: CMI Fairlight y Bell.

Algunos datos de estos instrumentos

Algunas de las características de estas pequeñas maravillas se consignan a continuación (Bell):

- 32 osciladores con una precisión hasta de 2 milésimas de ciclo para cualquier frecuencia;
- 32 osciladores armónicos para generar hasta 126 armónicas de la frecuencia deseada;
- 32 filtros programables a voluntad;
- 256 generadores de envolvente (lineal o logarítmica);
- 64 diferentes posiciones de reverberación sonora;
- 192 posibilidades de interconexión eléctrica entre los diferentes elementos de que consta el instrumento;
- 4 canales de salida con sus respectivos convertidores D/A de 16 bits de presición cada uno;
- 2 canales de entrada con sus convertidores analógico-digital A/D, de 14 bits cada uno, para permitir la entrada de cualquier sonido del exterior y convertirlo a sus valores numéricos (una vez en dígitos, se puede almacenar o "memorizar", con objeto de utilizarlo en su forma original o bien procesarlo adicionalmente o prolongarlo indefini-

damente, aunque haya sido de tipo percusión, o de muy corta duración);
- 225 cronómetros para acomodar los eventos musicales con relación temporal precisa, hasta de 1 milisegundo;
- 72 palancas (o cursores) para controlar los diferentes parámetros musicales que posee el aparato, y
- 4 palancas para control tridimensional de los eventos musicales en su salida al exterior.

Las ondas sonoras están almacenadas con 250 valores en un ciclo

Cada sonido generado está basado en un muestreo de 250 elementos por ciclo. Las conexiones se realizan a través de los registros de instrumento, en forma enteramente digital y haciendo uso de la programación.

Otras posibilidades notables incluyen, en forma sumaria:
- Los sonidos pueden ser escuchados en tiempo real, simultáneamente a su producción o pueden ser transferidos en forma posterior a la ejecución en vivo.
- Igual que la posibilidad anterior, pero con tratamiento adicional durante el momento de la presentación.
- Varios sonidos pueden ser preparados y editados (en tiempo no real y con entera calma) y ser incluidos en la realización viva, con o sin modificación improvisada o programada.

La velocidad de proceso es de mil operaciones básicas por segundo

La velocidad aproximada de los procesos en estos instrumentos es de unos mil cambios por segundo en cualquier evento musical (alturas, envolventes, presentaciones gráficas en la pantalla, y otras). En caso necesario, estos aparatos pueden transformarse en minicomputadoras de uso general para otras aplicaciones, e inclusive pueden conectarse elementos de entrada y de salida para procesos contables o técnicos y científicos, y aunque no es el tema de nuestro estudio ni lo veremos, en ocasiones una utilización mixta musical-contable o musical-técnica o científica puede justificar –y pagar con creces– su instalación en una institución educativa, que en otra forma no podría desviar su presupuesto sólo para un instrumento musical. Su precio al momento de escribir estas notas es aproximadamente la mitad del de un piano de cola, en su versión mínima, y como el del piano en su versión extendida.

Procesos de composición musical por pantalla

Los procesos por pantalla merecen una atención especial y una descripción lo suficientemente amplia, para que el lector los asimile con facilidad, pues la entrada a las computadoras por este medio se está volviendo norma y aunque su origen y disponibilidad actual se ubica en las computadoras grandes, se comienza ya a disponer de pantallas como posibilidad normal en las minicomputadoras construidas especialmente como instrumentos musicales. Como esta parece ser una tendencia predominante, recomendamos al lector interesado, se concentre en su asimilación, por lo demás, nada difícil y de poderosos recursos.

La pantalla permite al compositor trabajar en la computadora en lo que se ha dado en llamar "modo conversacional", que consiste en un intercambio de información computadora-compositor, tal como si fuese una conversación entre ambos, ajustándose el proceso a este intercambio para un resultado final depurado, bien meditado y a la medida de los recursos básicos de la computadora empleada.

Generalidades del proceso

La máquina presenta la información por "pantallas gráficas" o simplemente "pantallas". Una pantalla de tipo general nos mostrará la información en forma de índice de todos los elementos almacenados por la máquina para cierto evento musical. Al apuntar con el lápiz luminoso a la parte del índice que se desea conocer "in extenso" la pantalla rápidamente borra su presentación y hace aparecer la solicitada en detalle. Todas las pantallas tienen opción a modificar la información allí contenida, sea por medio de los teclados o dibujando con el lápiz luminoso curvas, o realizando conexiones, o seleccionando valores predeterminados. La pantalla, el o los teclados musicales y el teclado alfanumérico o tipográfico, están estrechamente ligados en su funcionamiento. Puede haber otro tipo de unidades de entrada y salida: lectoras de tarjetas, de cinta magnética, impresoras, etc., pero para nuestra descripción sólo consideraremos la pantalla y haremos alusión a los elementos de entrada y salida (fundamentalmente teclado musical, teclado alfanumérico y pedal de control) sólo cuando el proceso por pantalla tenga relación con alguno de ellos.

Veamos ahora algunas formas de operación que, entre las muchas existentes, consideramos son las más representativas de este "estilo" de composición musical por computadora y pantalla.

Pantalla índice

1. La primera pantalla que mostramos nos presenta el contenido de la "fonoteca" existente en uno de los discos de la computadora. Estos discos son de tamaño parecido a los de 45 revoluciones, pero de la apariencia y el color de una cinta magnética, pues la forma de grabación es por ese medio. Son flexibles y vienen dentro de un sobre, del cual no se pueden sacar y sólo tienen descubierto: el centro para montarlo y recibir el giro de los mecanismos de la máquina y una ranura por la cual se lee y se graba. En inglés se llaman *"floppy disc"*, o disco flojo y se pueden tener y usar todos los que se deseen, como "fonoteca". Al solicitar la "clave 01", por medio del teclado, aparecerá la presentación indicada en la figura, para el disco seleccionado:

Figura V.10
Pantalla para la clave 01.

Podemos observar que disponemos de cuatro tipos de información básica:

1. Las voces disponibles, "fabricadas" en el mismo equipo con anterioridad.
2. Las escalas que hemos formado previamente.
3. Las secuencias melódicas que llevamos compuestas.
4. Las órdenes que le daremos a la máquina para su ejecución.

Una forma rutinaria de trabajar sería, por ejemplo, apuntar el lápiz luminoso en el asterisco frente a la sección ARIA, y después en el asterisco de la orden DETALLA. Los asteriscos señalados aumentarán su intensidad para mostrar las órdenes dadas. Una vez verificada la acción a tomar y los elementos en juego, se oprime el botón del teclado: "ejecuta", y en una fracción de segundo, se borrará la información que vemos en la pantalla y aparecerá la de la figura V.11, que veremos adelante y donde podremos oir, modificar, mezclar, etc. la secuencia 'aria'. Por supuesto que esta es sólo una opción de las muchas de que disponemos en esta pantalla "índice". El lector puede imaginar otras como práctica.

Pantalla conexiones y desconexiones

2. La siguiente pantalla es un tablero de conexiones o matriz electrónica-luminosa, llamada "Conexiones y desconexiones".

Al solicitar esta opción, aparecerá una matriz en la pantalla con la información arreglada en líneas y columnas como sigue: horizontalmente, las salidas de los controles: teclados, palancas, pedales, etc., y algunos efectos especiales; verticalmente, las entradas de las voces disponibles para la composición que estamos realizando y que está almacenada en un disco magnético, como vimos antes.

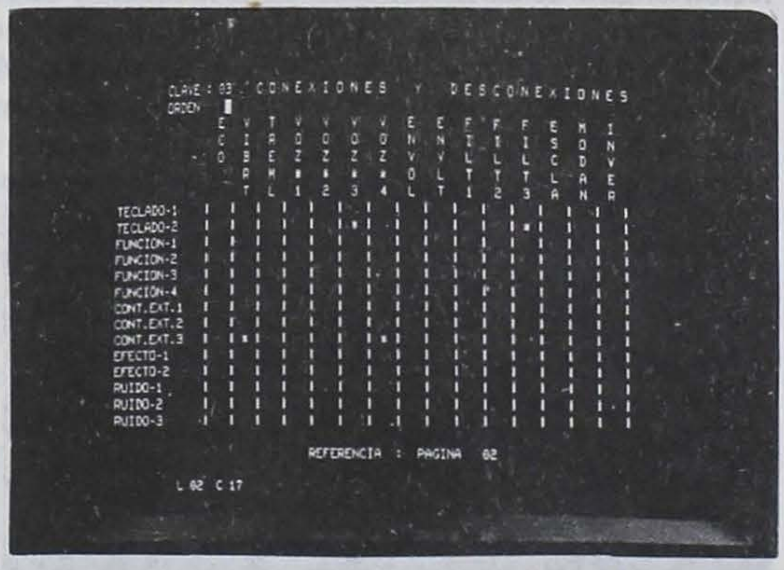


Figura V.11 Pantalla para la clave 03.

Al poner el lápiz luminoso en la intersección de los elementos deseados, un asterisco luminoso aparecerá indicando que la conexión ha sido realizada. Para desconectar, bastará poner el lápiz sobre el asterisco donde se hizo previamente una conexión: el asterisco desaparecerá indicando la desconexión en esa intersección.

En el ejemplo presentado, hemos conectado el teclado 2, la voz 3, y los sonidos que produzcamos, irán filtrados por el filtro 3. Al mismo

tiempo, el control externo 3 (el pedal, por ejemplo) queda conectado a la voz 4 y está afectado por vibrato.

A partir de este momento, podemos manipular externamente los sonidos seleccionados con los controles asignados, y si tecleamos la orden 18: audible, podremos oír inmediatamente el resultado que, si llena los requisitos previstos, se podrá almacenar como parte de nuestra composición musical.

Pantalla contenido armónico

3. La pantalla contenido armónico, nos da la opción para formar una onda, elaborando su timbre a voluntad mediante el dibujo de la amplitud de cada una de sus armónicas, por el tiempo de duración de tal sonido. La fundamental y sus armónicas pueden ser observadas en conjunto en la pantalla.

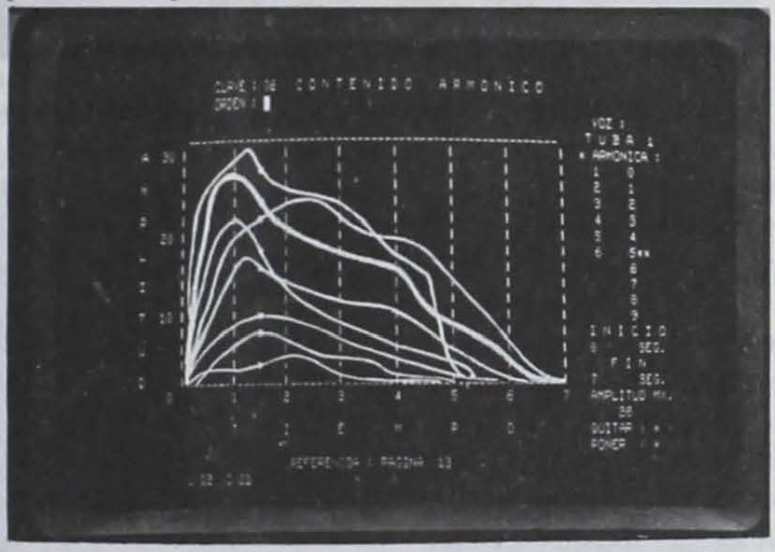


Figura V.12
Pantalla para la clave 06.

La síntesis de este sonido se va realizando mediante la adición de cada una de sus armónicas, hasta en cantidad de 64, las que son seleccionadas por la tabla a la derecha de la pantalla. Una vez seleccionada la armónica, se puede dibujar con el lápiz luminoso llevándolo sobre la superficie de la pantalla. La línea recien dibujada resalta sobre las demás por su mayor brillantez y grosor. Hasta 10 líneas pueden observarse simultáneamente en la pantalla, y para saber de cuál armónica es cada línea, se coloca el lápiz luminoso sobre el asterisco de cualquier línea, y el número de la armónica será identificado (hasta 64) por la aparición de un asterisco en la tabla de la derecha, frente al número correspondiente.

En nuestro caso se ha pedido la identificación de una curva y ha resultado ser la armónica 5, la que se presenta, más gruesa y brillante, para distinguirla sobre las demás. Todas las curvas pueden modificarse a voluntad con el lápiz luminoso, o bien pedir su supresión total o parcial. El eje horizontal representa la duración total del sonido, el vertical, la amplitud correspondiente

Pantalla dibujar melodía

4. Vamos a pedir, mediante el teclado alfanumérico, la clave 07 y veamos aparecer en la pantalla la opción 07: Dibujar secuencia melódica. Esta opción nos presenta un rayado especial que permite el dibujo de la melodía deseada, lo que será realizado con el lápiz luminoso.

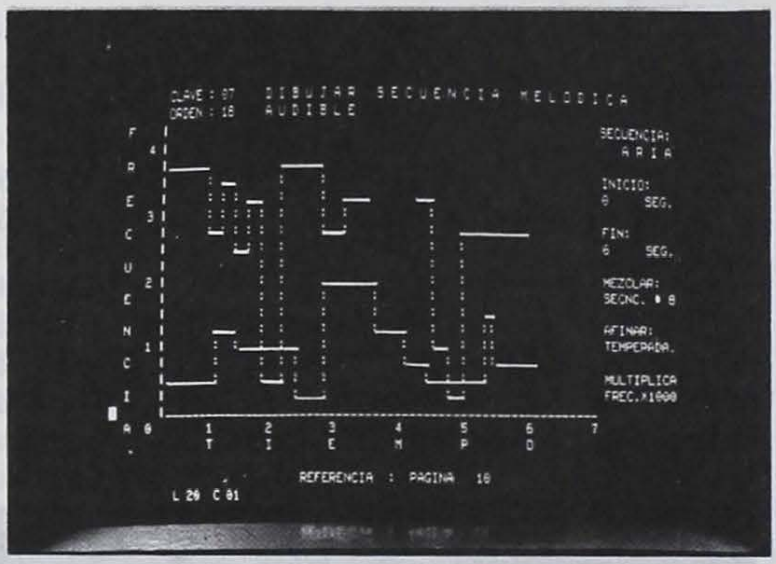


Figura V.13
Pantalla para la clave 07.

El rayado no es sino un sistema de ejes, en el que el horizontal representa tiempo en segundos y el vertical la frecuencia en miles de hertz.

Se puede pedir la opción de "afinar" si se desea componer en la escala temperada, en cuyo caso la computadora automáticamente corregirá las imprecisiones en el dibujo, dando los valores exactos de las notas en tal escala.

En nuestra pantalla, las líneas horizontales que se han trazado corresponden a las notas, en su duración y altura. Las líneas punteadas verticales aparecen automáticamente y sirven de referencia para unir y dar continuidad a cada voz y no causar confusión cuando se traza más de una melodía a la vez en la misma pantalla, como en nuestro caso, en que las dos voces se entrecruzan.

La orden 18: audible, nos permite oir la melodía que hemos dibujado, cuya duración es de 7 segundos y contiene notas entre 220 y 3,900 hertz, o sea entre el la_3 y el si_7 (nótese el silencio de la voz más alta por el segundo 4).

Pantalla dibujar forma de onda

5. La clave 08, nos permite dibujar una onda directamente sobre la pantalla. La petición de esta opción nos presenta un rayado que contiene, horizontalmente los grados de la onda para la presentación de un ciclo completo, o sea 360° y verticalmente las unidades de amplitud, positivas y negativas, por ser una onda alterna.

El dibujo se realiza directamente con el lápiz luminoso y será de un ciclo de la onda en la forma imaginada por el compositor. A mayor complejidad corresponderán, naturalmente, mayor número de armónicas en su contenido. Puede dibujarse desde una senoide, hasta la onda más compleja y se dispone asimismo de la opción de mezclar la onda dibujada con otras ya almacenadas o registradas previamente en la máquina, sean de origen exterior, o por "diseño" del mismo compositor. Ya aceptada la onda, visual y auditivamente, se puede llevar a la memoria y solicitarla cuando se desee.

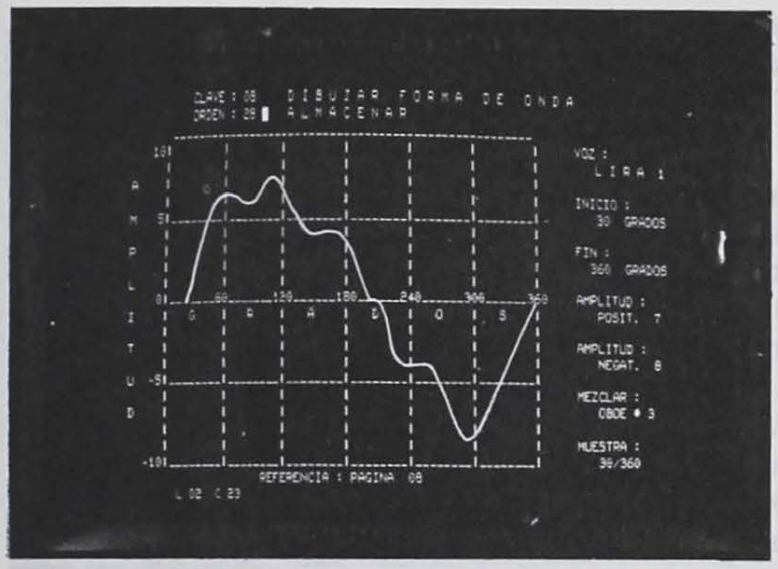


Figura V.14
Pantalla para la clave 08.

Pantalla formar onda por armónicas

6. Es posible, también, dibujar una forma de onda, pero por adición sucesiva de sus armónicas en cantidad e intensidad, mediante un tablero luminoso, tal como se indica en esta pantalla, que corresponde a la clave 12.

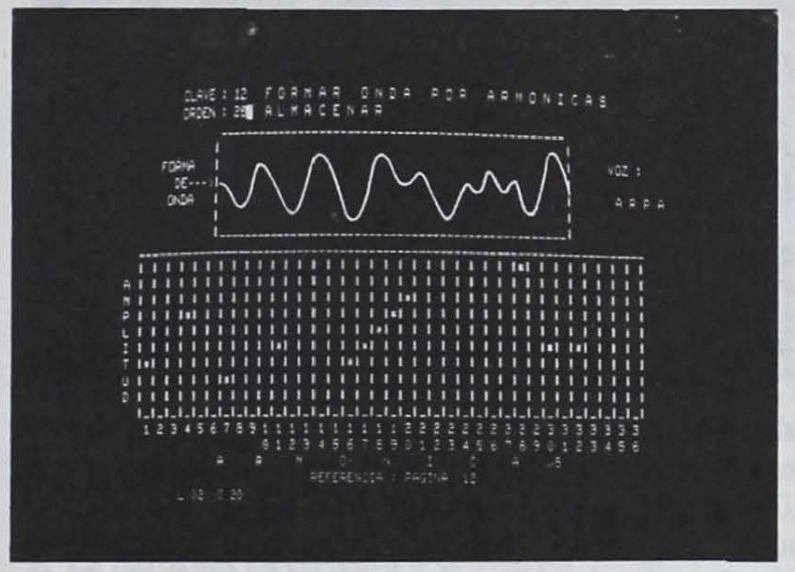


Figura V.15
Pantalla para la clave 12.

Esta es una variante del caso anterior y del caso tercero, para demostrar la gran variedad y flexibilidad de obtención de timbres en este "instrumento" digital.

La onda se "fabrica" introduciéndole una a una sus armónicas, con la intensidad seleccionada en el tablero, que contiene 36 cursores luminosos sobre los que se fija la amplitud deseada, colocando el lápiz luminoso en la posición de amplitud prevista. Además, la forma de onda resultante aparece dibujada y se puede observar como va cambiando dinámicamente al modificar la posición de los cursores o la adición de nuevas armónicas.

Al igual que en el tablero de conexiones y desconexiones, al poner el lápiz aparece un asterisco indicando conexión en la posición de intensidad de la armónica escogida. Para la desconexión, se pone el lápiz sobre algún asterisco existente, que desaparecerá. En nuestro caso

la onda dibujada contiene las armónicas: 1, 4, 7, 11, 16, a 20, 28, 30 y 32, en las intensidades que indican los asteriscos. La voz la hemos bautizado como "arpa" y hemos dado la orden 28: "almacenar".

Pantalla análisis sonoro

7. Cualquier sonido externo puede ser adquirido para la composición de una obra. Tenemos la posibilidad de realizar un análisis completo de dicha onda mediante la opción clave 14: análisis sonoro. La onda adquirida puede serlo mediante micrófonos, cinta magnética, disco, etc. Al entrar el sonido a la computadora, será convertido en sus valores numéricos, con un muestreo que puede ser elegido a voluntad. La idea es la de tener una variedad de sonidos almacenados, que son difíciles de sintetizar, como palabras habladas, sonidos percusivos especiales, instrumentos tradicionales, etc. Una vez en "memoria", el sonido puede presentarse en la pantalla para su análisis, modificación, o mezcla.

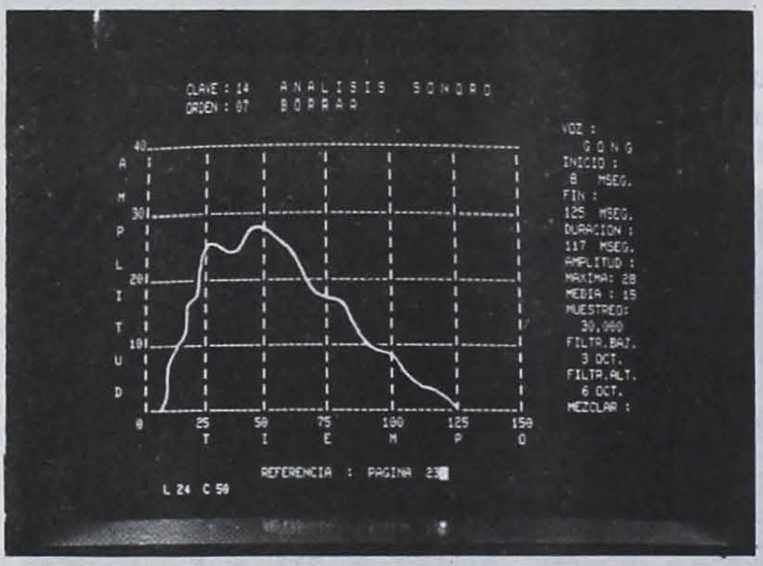


Figura V.16 Pantalla para la clave 14.

Una gran cantidad de información analítica es presentada al compositor, en esta opción, por la computadora: número de muestras (en nuestro caso: 30,000 por segundo), amplitud máxima y media, duración en milisegundos, etc. También aparece dibujada la envolvente o amplitud del sonido durante el tiempo de su adquisición. Después de esto, la onda puede procesarse a voluntad o borrarse si así se desea, como en nuestro caso, que no se consideró satisfactoria y se da la orden 07, prefiriendo procesar otra nueva.

Es posible también introducir un filtro de banda alta y baja, para limitar el ancho de banda del sonido que se analiza.

Pantalla secuenciador

8. Finalmente veremos otra posibilidad notable de este instrumento, que consiste en almacenar composiciones musicales que se van realizando en los teclados, sea el musical, o el alfanumérico. Tales "secuencias" se memorizan digitalmente en los discos magnéticos y después se pueden repetir a cualquier velocidad, mezclar con otras secuencias, alterar, etc. Es posible, también, ir produciendo y almacenando una cierta secuencia, mientras que la computadora "toca" una o varias secuencias en forma simultánea y almacenar, si se desea, todas a la vez.

Figura V.17
Pantalla para la clave 18.

Esta opción permite hasta 30 minutos de composición musical en un aparato comercial (CMI, mostrado en la figura V.9). Las secuencias se pueden producir también paso a paso con el teclado, la pantalla y el lápiz luminoso, en cuyo caso la secuencia o composición se va formando nota por nota, como si se escribiera en una partitura, especificando todas las particularidades necesarias para que la computadora comprenda (la información de la pantalla, nos va guiando en el avance de la secuencia).

En nuestro ejemplo, la secuencia ARIA, se escuchará procedente del disco SECUARIA. Disponemos de 800 posiciones para almacenar nuestra composición, cuyo nombre asignaremos y aparecerá en "salida", posteriormente. Las leyendas que aparecen en la pantalla, nos indican todas las operaciones posibles para lograr la secuencia deseada, paso a paso o "en vivo", por medio del teclado.

Dejamos a la imaginación del lector todo lo que se puede realizar con un secuenciador de este poder y cerramos con esto la segunda aplicación de la computadora como instrumento musical digital.

5. La partitura electrónica o el control de un sintetizador por medio de una computadora: *secuencias digitales*

La computadora controlando a un sintetizador, por medio de sus voltajes de control

La tercera aplicación de la computadora en la producción de música corresponde a su empleo como control de un sintetizador musical analógico, generando los voltajes de control requeridos y que han sido programados previamente en dicha computadora.

Ya explicamos que una computadora digital controlando a un sintetizador, es una extensión más potente de los secuenciadores introducidos, por primera vez, por Buchla. Normalmente, el control está encomendado a una minicomputadora y su potencialidad es más que suficiente para programar una obra completa.

Desde luego, se requiere que los módulos del sintetizador que vamos a controlar, sean controlables a voltaje, y debemos recordar que aún así, no todos los elementos o parámetros lo son, aún en un módulo que sí lo sea. Por ejemplo, en un oscilador es posible controlar la frecuen-

cia, pero la forma de onda se debe seleccionar a mano, y del mismo modo, la intensidad de la modulación sobre la onda de tal oscilador es también controlable a mano en algunos modelos.

De cualquier modo, y en términos generales, los parámetros controlados a voltaje son los que normalmente están variando a lo largo de una composición y aquéllos que deben ser controlados a mano, normalmente permanecen constantes.

Se pueden controlar los módulos que se indican

Aún así y a pesar de las restricciones anteriores, nos queda una amplia variedad de módulos y de elementos que son factibles de programar para ser controlados en forma automática, siendo los principales:

- Osciladores (controlables en su altura).
- Filtros (en su ancho y paso de banda).
- Mezcladores (en forma completa).
- Amplificadores y generadores de envolvente (en forma total).
- Moduladores (totalmente).
- Distribución sonora espacial (totalmente).
- Reverberadores (total y parcialmente, según modelos).
- Procesadores de voltajes de control (totalmente).

  Velocidad en grabadoras de cinta (totalmente).

Posibilidades adicionales al secuenciador común

Si bien, al sustituir un secuenciador electrónico normal por una minicomputadora, no solamente se lograrán dar las secuencias programadas, sino toda una serie de facilidades fuera del alcance del secuenciador ordinario, y así podremos lograr, en adición:

- Desde luego, el control automático de los módulos de cualquier sintetizador, pues se ofrecen de tipo "universal", en tanto que los secuenciadores normales sólo controlan al sintetizador de su propia marca y fabricación.
- Se obtendrá también el control preciso y automático del tiempo transcurrido en cualquier instante de la obra y será ajustable a voluntad. También es posible usar control externo del tiempo y sincronía con eventos exteriores, si se desea.
- Se dispone de posibilidades polifónicas, pudiendo programarse una a una todas las voces de la obra y escucharlas todas a la vez o en la combinación parcial deseada.
- Es posible avanzar rápidamente hacia adelante o hacia atrás en forma similar a un magnetófono. También se puede llevar lentamente y nota por nota, para edición, borrado o modificación del material sonoro, hasta lograr el efecto buscado.
- Se tiene la posibilidad de comprimir, extender o invertir los voltajes de control (sin alterar sus valores originales en la memoria), con el objeto de acelerar, retardar o invertir los intervalos sonoros, sin la pérdida de los valores originales programados, aunque si los nuevos valores son satisfactorios, se pueden sustituir por los originales, o bien conservar ambos en memoria.
- Se dispone de una edición automática y sencilla al tener el recurso de la alteración, desde simples notas hasta secuencias sonoras largas.
- Como los voltajes de control aceptados han quedado almacenados en memoria, cualquiera que sea su procedencia, existe la posibilidad de "vaciar" el contenido de la memoria en una cinta magnética y de

volverla a cargar en la memoria cuando se requiera, pudiéndose tener una extensísima "cintoteca" de programas o tan solo facilitar la reprogramación en el caso de varios usuarios (como en el caso de Friburgo, visto con anterioridad).

En el caso de realizar una secuencia que se considere valiosa, es posible "proteger la memoria" contra un borrado o alteración accidental.

Las figuras siguientes nos presentan dos modelos comerciales: el Roland y el EMS (el primero japonés y el segundo inglés), tales secuenciadores universales que se pueden hallar, entre otros, en el mercado actual, están dirigidos al control de sintetizadores también comerciales y controlados a voltaje.

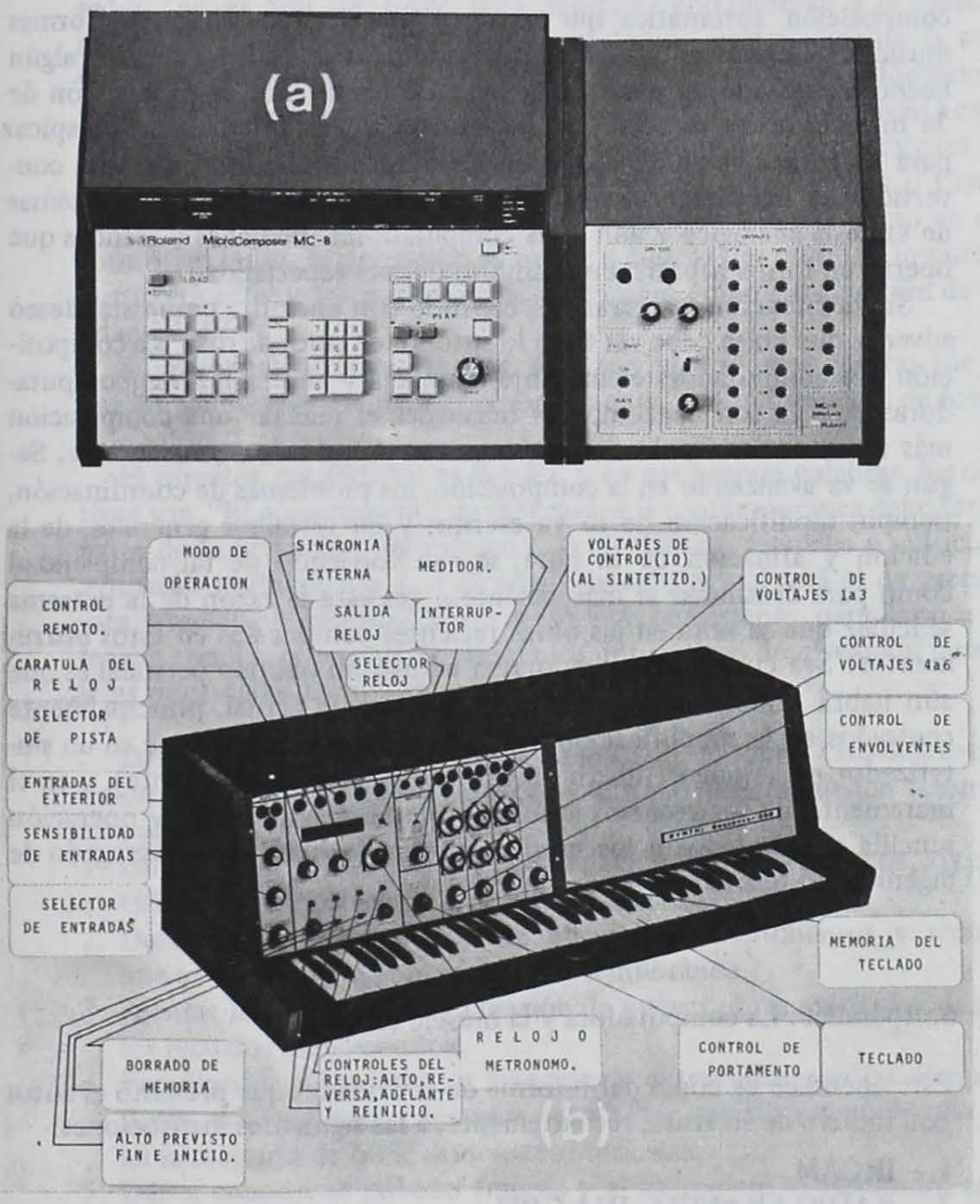


Figura V.18 Dos modelos comerciales de minicomputadoras operando como controladores de sintetizadores. a) Roland; b) EMS.

A simple vista es posible notar las particularidades descritas con anterioridad, pero consideramos pertinente el no extendernos más en el tema, pues cada modelo tendrá sus variantes respecto a las posibilidades generales ya anotadas y que son las que interesa conocer y comprender.

Las tres aplicaciones estudiadas se aplican mezcladas en muchas instalaciones

No debe pensarse que las tres aplicaciones estudiadas en el libro son siempre claras y precisas. En muchas instalaciones no es posible trazar una línea divisoria entre ellas y la versatilidad de la computadora le permite trabajar y adaptarse a cualquiera de ellas con facilidad.

Debe advertirse –repetirse más bien– que la tendencia actual es preponderantemente hacia la síntesis y control digital en forma absoluta, y aún en esta última aplicación –y también la primera, relativa a la composición automática que se sigue practicando, ahora en formas musicales novedosas y también cuasi-aleatorias– de no mediar algún hecho inesperado de parte de la solución analógica a la producción de la música, no se requiere ser profeta, ni siquiera demasiado perspicaz para asegurar que en algunos años las minicomputadoras digitales convertidas en instrumentos musicales tomarán la delantera a los sistemas de síntesis analógica y aún a las computadoras medianas y grandes que operan en forma híbrida, en el ámbito de esta especialidad.

El futuro parece pertenecer a los sistemas digitales, aun en la grabación magnética. Pero no todo es optimismo

Sin la intención de cerrar este capítulo con una nota pesimista, deseo advertir que no se debe ver todo lo anterior de color de rosa. La composición por computadora es bastante compleja y aún en las minicomputadoras que ya son instrumentos musicales el realizar una composición más o menos seria y de calidad, requiere un esfuerzo considerable. Según se va avanzando en la composición, los problemas de coordinación, tiempo, modificación de lo ya escrito, y en términos generales, de la edición y afinación de la obra, se van volviendo de tal complejidad como para desanimar al más valiente... ¿es esta la razón de la extrema sencillez que se nota en las obras recientes compuestas en estos instrumentos? Sea cual fuere el panorama actual, mi opinión personal es que aún habrá cambios profundos en la tecnología actual, principalmente centrados en la simplificación, normalización (lo que se hace en un sintetizador no se puede repetir en otro de fabricación diferente), y en el incremento de los recursos automáticos, de programación y operación sencilla y orientados a los músicos (así nada más, sin el agregado de ingenieros o técnicos).

6. Apéndice: La computadora y la música en París

Este apéndice es copia del informe de actividades que presentó el autor con motivo de su visita, recientemente, a las siguientes instituciones:

Instituciones visitadas (cronológicamente)

1.– IRCAM
2.– RADIO FRANCIA, INA-GRM
3.– CEMAMu

1.– IRCAM: Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique

Domicilio

31 Rue Saint Merri
75004 París, Francia

Descripción somera

Construidos enteramente bajo tierra, para aislarlo de los ruidos exteriores (y sin embargo con iluminación natural, mediante un sistema de vitrales), los 8,000 m^2, del IRCAM forman parte, junto con el Museo Nacional de Arte Moderno, la Biblioteca Pública de Información y el Centro de Creación Industrial; del Centro Nacional de Arte y Cultura, fundado y patrocinado por el presidente de Francia, Georges Pompidou, en el año de 1969. Está dedicado enteramente a la creación musical mediante las técnicas más modernas, principalmente la computadora numérica; pero por razones de la investigación internacional y del espectáculo cultural y público que inevitablemente se llevan a cabo, tiene una personalidad jurídica y un presupuesto independientes del resto del Centro Beaubourg (como le llaman los franceses o Centro Pompidou como quiere llamarle el gobierno: en Francia como en muchos otros lados, la población se resiste a adoptar los nombres impuestos burocráticamente) y por ley está reconocido como "Asociación de utilidad pública".

Su personal permanente está formado por 54 especialistas (de los que un veinte por ciento aproximadamente, son extranjeros) de formación musical, científica-técnica o híbrida.

Objetivos

El director del IRCAM es Boulez, y en sus propias palabras, los objetivos son "El conocimiento de la tecnología contemporánea debe formar parte de la invención del músico (...) científicos, técnicos y músicos se ayudarán mutuamente (...) el gran proyecto actual será el de preparar esta integración, por un diálogo más y más consistente, para llegar a una lengua común, que tome en cuenta los imperativos de invención musical y las prioridades tecnológicas".

Actividades

Desde su fundación el IRCAM ha tratado de lograr este objetivo: la unión musical-científica y técnica, y sus actividades pueden resumirse en pocas frases:

1. Establecimiento de una estrecha relación entre los músicos, los científicos y los técnicos de la especialidad, como se vio.
2. Desarrollo y construcción de materiales, instrumentos y técnicas que se ofrecerán al compositor contemporáneo.
3. Alentar la composición y creación de nuevas obras musicales, usando los recursos mencionados.
4. Familiarizar a los músicos franceses y extranjeros con las computadoras, sus lenguajes y técnicas avanzadas, que no son enseñadas aún en la mayoría de las instituciones musicales.
5. Dar a conocer al público francés y al extranjero el resultado, tanto de estas investigaciones como de las obras musicales resultantes, y en una forma más general, la evolución actual del pensamiento y la creatividad musicales.

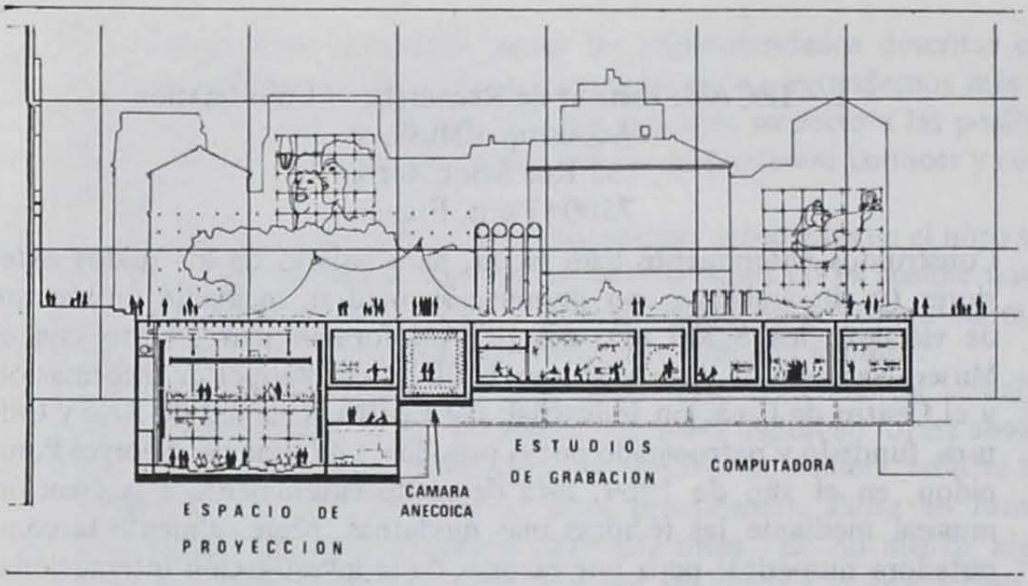


Figura V.19 La construcción subterránea del IRCAM.

El aspecto científico

El aspecto científico-técnico (que para mi punto de vista personal está hipertrofiado respecto al artístico) se distribuye en dos laboratorios: el de acústica y el de tratamiento numérico de sonidos. Un comité coordina sus actividades con los grupos musicales y su producción.

Además de su personal permanente, el IRCAM recibe investigadores invitados a sus laboratorios, mediante la solicitud, estudio y aprobación previa de los proyectos a desarrollar.

El aspecto musical

El grupo de investigación, producción y difusión musicales, define los lineamientos de las actividades en estos aspectos y regula la formación y recepción de los músicos franceses y extranjeros . La investigación se centra en los lenguajes musicales de las obras nuevas, en el control de timbres complejos y su influencia en la composición; en el lenguaje de programación de computadoras para lograr una participación simple y poderosa del músico al que se le rodea de un "ambiente" creativo, usando medios gráficos, controles manuales y ayudas mecanicas para que la computadora sea para él tan natural e intuitiva como sea posible.

El aspecto pedagógico

El aspecto pedagógico está formado por un responsable y cuatro "tutores" que poseen una doble formación, musical y científica.

Las sesiones de enseñanza, llamadas "Cursos de informática musical" tienen una duración de seis semanas y permiten adquirir las suficientes nociones técnicas sobre acústica, programación y teoría, como para llevar a cabo los proyectos personales de los participantes, sea aisladamente o en grupo. Las obras musicales se dan a conocer mediante el "Conjunto Intercontemporáneo" tanto en Francia como en el extranjero.

Al lector curioso (o que quizá se interesa en tomar el curso) le gustará conocer "qué enseñan" a los compositores. He aquí el programa sumario de las seis semanas:

- Las computadoras y su programación. Introducción general.
- Características de la computadora principal del IRCAM, la PDP-10.
- Construcción de instrumentos sintéticos con la PDP-10, mediante el programa Music-10. Reverberación, filtrado, etcétera.
- Programación detallada de la PDP-10, si se desea programarla.

Los cursos son en francés, con documentación francés-inglés. Los alumnos disponen de terminales de la computadora para desarrollar su trabajo. El número de personas está limitado a 6 por sesión y el trabajo es intenso: seis días a la semana a tiempo completo. Previa aceptación de los candidatos, el costo aproximado, a esta fecha, es de 1,000 francos, pero se puede gestionar beca si se justifica.

Las actividades de investigación y creación tienen prioridad en el IRCAM, pero se llevan muchas otras, como la participación en numerosas actividades de difusión cultural y musical: conciertos, talleres, giras musicales en Francia y el extranjero y asimismo la publicación de sus investigaciones y las obras musicales en coproducción con las grandes compañías de difusión: casets, discos, películas y programas de televisión.

Las instalaciones y el equipo

Ya se hizo un esbozo del IRCAM al principio, aquí detallaremos, primero las construcciones, que constan de 7 estudios, una cámara anecoica (que no produce ecos) una sala de computadora, seis laboratorios, una sala de conferencias, una biblioteca, 32 oficinas, un taller mecánico y electrónico y una gran sala experimental llamada "Espacio de proyección", con todas las facilidades técnicas y acústicas para realizaciones artísticas.

El equipo de cómputo, que dirá poco a los no iniciados, consta de cuatro computadoras, tamaño mediano a grande (PDP-10, PDP 11/40, 11/34 y 11/55), varias minicomputadoras LSI-11, varios convertidores D/A y A/D, procesadores de sonidos numéricos, y como complemento obligado, el equipo acústico, electrónico-sonoro de alta calidad y el de medición y mantenimiento.

Una demostración con la computadora

En la sala principal de la computadora se me hizo una demostración con la PDP-10; primero, una pieza del *Clave Temperado* de Bach, sintetizado numéricamente por computadora, posteriormente una pieza clásica orquestal de Bellini, también sintetizada en la computadora, enseguida una pieza electrónica pura... y finalmente lo más impresionante) una "improvisación" mediante modificación de timbres, frecuencias, reverberación, etc., con el lápiz luminoso en la pantalla de la computadora, aplicado a las piezas últimas. El ingeniero (Di Giugno) "dibujaba" en la pantalla los parámetros que deseaba modificar y simultáneamente se escuchaba el cambio producido en el sonido, finalmente, en forma caprichosa, se puso a dibujar en la pantalla y el resultado era a veces hermoso, a veces impresionante y extraño, en ocasiones risible, pero siempre se hizo presente la enorme potencialidad musical del "instrumento".

2.– INA-GRM, RADIO FRANCE. (Institut National de L'Audiovisuel, Groupe de Recherches Musicales)

Dirección

116 Avenue du President Kennedy
75016 París, Francia.

Descripción sumaria

El INA-GRM, ubicado en el edificio de la casa de Radio Francia, es la prolongación directa y con el mismo patrocinador desde los años cincuenta, del primer impulso dado por Pierre Schaeffer y la música concreta... el sueño de todo artista: generosidad y continuidad.

Sus actividades son numerosas: conciertos, publicaciones, investigaciones, actividades pedagógicas, discos... y es que, enclavados directamente en Radio Francia, se tiene oferta y demanda internamente, o si se quiere son productores y consumidores simultáneamente.

El edificio, a orillas del Sena, está formado por una estructura circular de medio kilómetro de circunferencia y con una torre central de 70 m. de alto. Dentro de sus 1,000 oficinas, 62 estudios sonoros y cinco auditorios, se producen anualmente 60,000 horas de programas radiofónicos en 18 idiomas distintos que cubren el mundo entero. Con sus dos hectáreas de superficie construida, es el mayor edificio de toda Francia.

Actividades pedagógicas

Las instalaciones electroacústicas, dedicadas exclusivamente a la producción y enseñanza musical, ocupan varias oficinas y laboratorios del edificio y sus actividades están en relación directa con el Conservatorio Superior de Música de París, donde se imparten clases de composición musical con medios electroacústicos. Siendo la orientación de estas actividades, diferentes de las del IRCAM, el lector apreciará el que las consigne aquí para que pueda compararlas; nos referimos aquí a las actividades de los estudiantes procedentes del Conservatorio:

1. Relación entre la música instrumental contemporánea y las distintas tendencias de la música electroacústica. Análisis musical y seminarios en el INA-GRM.
2. El instrumento electroacústico: técnicas de sintetizadoras analógicos y digitales.
3. Composición musical: En el primer año, elaboración de piezas cortas con los principios asimilados. En el segundo, práctica intensa con los sintetizadores y composición de un estudio sobre cierto principio obligados y un estudio libre a selección del compositor.

Los estudiantes disponen de dos o tres sesiones de trabajo individual de tres horas por semana, durante el primer año, en las instalaciones del Conservatorio y en el segundo en las instalaciones de Radio Francia, esto, además de las clases colectivas sobre los instrumentos electroacústicos y la composición.

Para ser admitidos en el curso los estudiantes deben concursar en dos series de exámenes:

1. Música tradicional: solfeo, reconocimiento y análisis comparativo de obras tradicionales y contemporáneas.
2. Composición de secuencias musicales y reconstrucción de la partitura de escucha de un fragmento de obra electrónica.

Después de dos años de aprendizaje, se realiza un concurso de fin de estudios, en el que figuran, según las opciones escogidas por el alumno:

1. En opción composición-investigación: composición de un estudio bajo cierto principio obligado y análisis o desarrollo de cierto tema del curso.
2. En opción composición: un estudio-composición libre.
3. En opción investigación: una tesis sobre uno de los temas del curso.

La cooperación entre el INA-GRM y el Conservatorio permite alcanzar un desarrollo pedagógico considerable, por el contacto cotidiano de técnicos en la especialidad y estudiantes de música, que egresan a su vida profesional conociendo las técnicas más modernas, es decir son músicos de su época (¿podemos decir lo mismo en nuestro país?).

Instrumental técnico

La siguiente figura nos muestra esquemáticamente el estudio principal de composición digital o numérica. El equipo de cómputo está separado de las terminales, que en número variable se encuentran en otra sala, donde se ubican las facilidades sonoras compartidas por los usuarios.

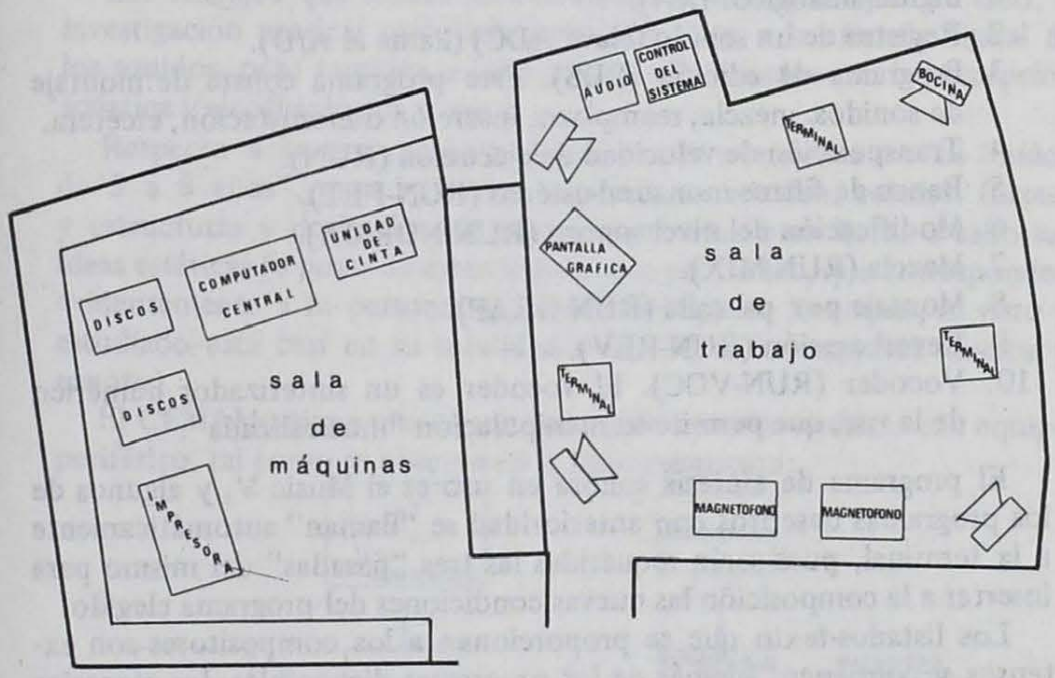


Figura V.20 Instrumental técnico del INA-GRM.

La computadora es de tamaño medio (PDP-11/60), trabaja en tiempo compartido y multiproceso y posee en línea sus convertidores A/D y D/A, de cuatro vías. A los usuarios únicamente se le exige los conocimientos mínimos necesarios para el empleo de las terminales y los programas existentes; en sus propias palabras: "La experiencia ha excluido de la educación exigida, hasta la codificación simbólica de ensamble de los programas tipo Music V, (...) esta posición no es de dogma sino de continuidad, ya que los objetivos están aún en construcción y es imposible que la base pedagógica evolucione con la experiencia de sus sujetos"... me resulta satisfactorio constatar que, aunque bajo un punto de vista diferente, concuerdan con lo que ha venido exponiendo a lo largo del texto, respecto a la posición del músico actual y el papel (transitorio) del híbrido: músico-técnico, en el panorama actual.

Todos los programas son conversacionales y la computadora propone sobre la terminal diferentes opciones a elegir (en sonidos, curvas, números) que el compositor empleará para su obra.

Facilidades al compositor

¿Qué facilidades digitales encontrará el usuario? Al comenzar su trabajo se le proporcionará un memorándum (aide-memoire) sobre los programas disponibles al día en la memoria de la maáquina, esta relación es impresa directamente en la impresora de la computadora y se actualiza conforme se hacen cambios en ella.

Señalemos algunos de ellos, entresacados del listado proporcionado al autor en su visita (las claves indicadas serán tecleadas por el compositor en su terminal para "llamar" al programa y que éste se ponga a su disposición).

1: Escuchar un sonido (clave DAC) (nótese que llama al convertidor digital-analógico: D/A).
2. Registro de un sonido (clave ADC) (llama al A/D).
3. Programa de edición (EDS). Este programa consta de:montaje de sonidos, mezcla, reemplazo, inserción o incrustación, etcétera.
4. Transposición de velocidad de ejecución (RUN).
5. Banco de filtros monaural-estéreo (RUN-FLT).
6. Modificación del nivel sonoro (RUN-NORMA).
7. Mezcla (RUN-MIX).
8. Montaje por pantalla (RUN-GRAP).
9. Reverberación (RUN-REV).
10. Vocoder (RUN-VOC). El vocoder es un sintetizador numérico de la voz, que permite su manipulación "musicalizada".

El programa de síntesis sonora en uso es el Music V, y algunos de los programas descritos con anterioridad se "llaman" automáticamente a la terminal, pues serán requeridas las tres "pasadas" del mismo para insertar a la composición las nuevas condiciones del programa elegido.

Los listados-texto que se proporcionan a los compositores son extensos y contienen, además de los programas disponibles, los mensajes de error que dará la máquina, los posibles resultados "incoherentes" que pudieran presentarse y sus causas, los filtrados "sin interés", así como también las sugestiones derivadas de la experiencia. En fin, que es un pequeño manual del usuario producido *in situ* por la impresora de la computadora.

Cierro la visita a este Centro, con la demostración que se me hizo. El experimento consisitió en dar tratamiento musical en la computadora, mediante los programas anteriores, a una frase hablada, en este caso "*à droite et à gauche les portes défilaient dans le même sens que moi, légèrement plus vite*". La frase se comenzó a repetir incesantemente con transposición de velocidad, cambio de timbre, reverberación, repetición y montaje sobre sí misma... El resultado fue impresionante, el sonido, ya musical, viajó desde un grave profundo, a una armonía rapidísima en juego polifónico. Los timbres variaban sin cesar y en momentos tenía la densidad y amplitud sonora de una orquesta sinfónica en 'tutti'.

3.– CEMAMu: Centre d'Etudes de Mathématique
et Automatique Musicales.
3, Avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux, Francia.

Domicilio

Descripción somera

El Centro de estudios de matemática y automatismo musicales, está ubicado dentro del Centro Nacional de Estudios de Telecomunicaciones (CNET), en un suburbio del mismo París. Fue fundado por Xenaquis en 1972 y está subvencionado por el Ministerio de Asuntos Culturales de Francia.

Objetivos

Su objetivo es "el estudio, la enseñanza y la práctica de ciencias y técnicas aplicadas a la creación artística sonora y visual, y esto por todos los medios a su alcance, principalmente con la utilización de máquinas electrónicas" (extracto de los estatutos del CEMAMu).

Los trabajos que realiza actualmente son múltiples: por un lado, la investigación musical orientada principalmente a la síntesis digital de los sonidos, pero también a los aspectos relacionados con la percepción acústica y sicofisiológica sonora.

Respecto a los proyectos pedagógicos, se concentra en los "niños de 5 a 8 años", para incitarlos a pensar en sonidos, colores, formas y estructuras y darles los elementos materiales para llevar a cabo sus ideas estéticas (a pesar de estos ambiciosos proyectos, que corresponden evidentemente a la personalidad multifacética de Xenaquis, lo visto y estudiado está casi en su totalidad centrado en los aspectos musical y sonoro).

Instrumental técnico

El CEMAMu tiene una computadora de tamaño mediano con equipo periférico, tal como se observa en la figura siguiente:

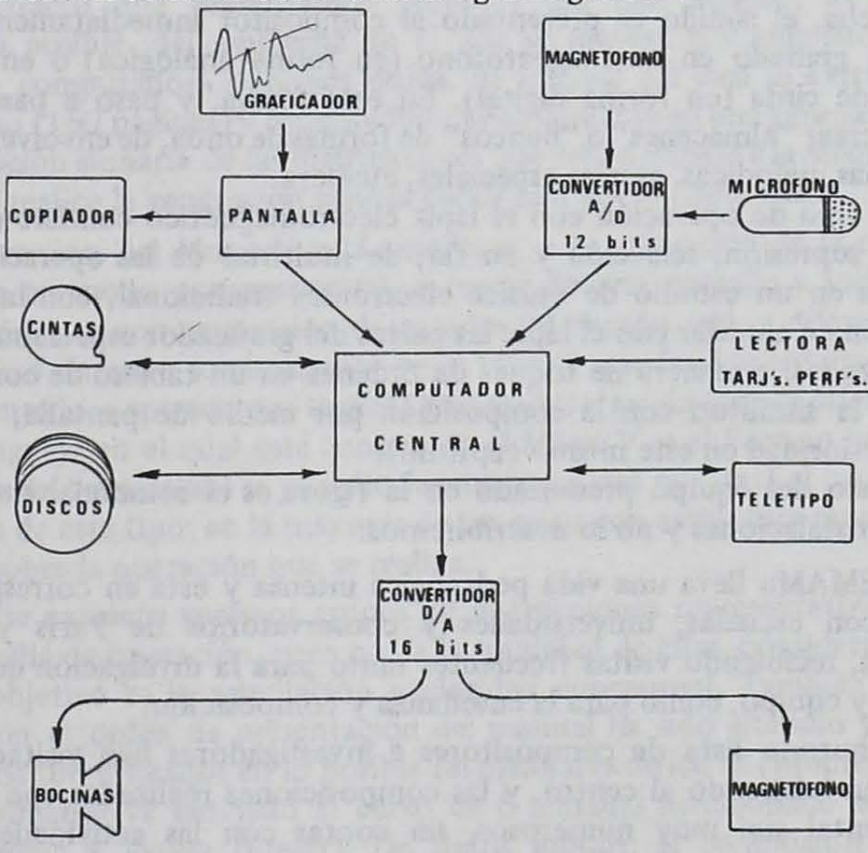


Figura V.21 Equipo del CEMAMu, llamado UPIC.

Los convertidores D/A yA/D están conectados "en línea", para escuchar inmediatamente los sonidos sintetizados (el D/A), y para introducir a la computadora los sonidos externos que se desean procesar (el A/D).

Al equipo mostrado en la figura se le ha llamado "UPIC" o Unidad Poliagógica Informática del CEMAMu (ignoramos si poliagógica es contracción de poli-pedagógica o es poli-agógica, de agogé=agógica=movimiento musical, según el término de Riemann).

El equipo está necesariamente complementado por equipo sonoro de alta calidad: amplificadores, magnetófonos, caseteras, bocinas, etc. Pero lo que representa el aspecto fuerte de esta instalación es la mesa de dibujo o graficadora, que convierte los dibujos realizados a lápiz y recorridos por un lápiz electromagnético, en parámetros musicales que son introducidos a la computadora y observados inmediatamente en una pantalla. Esta graficadora merece una descripción especial.

Sobre una mesa de dibujo de 1 m^2 aproximadamente, se extiende una hoja de papel (normalmente milimétrico para una referencia precisa de los ejes). El usuario decide que parámetro o elemento musical será dibujado en el papel y procede a su dibujo (forma de onda, envolvente, altura de las notas, etc.). Una vez hecho el dibujo, que se puede borrar tantas veces como se quiera, se recorre con el lápiz electromagnético, el que envía su lectura a la minicomputadora permanentemente conectada a la graficadora, donde aparece enseguida el mismo dibujo en la pantalla de visualización.

Una vez dada la orden de ejecución, con el mismo lápiz electromagnético, la computadora calcula estos dibujos-órdenes, y si se solicita su escucha, el sonido es presentado al compositor inmediatamente y también grabado en un magnetófono (en forma analógica) o en una unidad de cinta (en forma digital). En esta forma, y paso a paso, es posible crear "almacenes" o "bancos" de formas de onda, de envolventes, secuencias melódicas, escalas especiales, etcétera.

Otro tipo de operación con el lápiz electromagnético consiste en la mezcla, supresión, selección y en fin, de multitud de las operaciones comunes en un estudio de música electrónica tradicional, con la sola operación de apuntar con el lápiz las partes del graficador especialmente sensibilizadas, a manera de toques de órdenes en un tablero de control (nótese la similitud con la composición por medio de pantalla, vista con anterioridad en este mismo capítulo).

El resto del equipo presentado en la figura es el comercial en este tipo de instalaciones y no lo describiremos.

Actividades pedagógicas

El CEMAMu lleva una vida pedagógica intensa y está en correspondencia con escuelas, universidades y conservatorios de París y de provincia, recibiendo visitas frecuentes tanto para la divulgación de sus técnicas y equipo, como para la enseñanza y composición.

Una nutrida lista de compositores e investigadores han visitado y continúan asistiendo al centro, y las composiciones realizadas con este instrumental son muy numerosos, sin contar con las actividades de Xenaquis, bien conocidas en Francia y el extranjero.

La demostración en esta instalación consistió en el dibujo sobre la graficadora, de una forma de onda, su escucha una vez sintetizada por la computadora y el tratamiento subsecuente de la misma a través de órdenes dadas con el lápiz: transportar, mezclar, afectar de diferentes envolventes, modificar su dinámica, etcétera.

Para conveniencia de los lectores que deseen profundizar más en el área de música por computadora, deseo terminar este apéndice con un compendio del instructivo para el compositor (proporcionado en las instalaciones de computadoras), del programa Music. En nuestro caso, específicamente el MUSIC-V, y debo advertir que Music-V no es más primitivo que Music-10 y éste no lo es respecto a Music-360. Todos ellos son versiones, para diferentes tipos de máquina computadora, de un mismo programa base y así, el 10 es para la PDP-10, el 360 para la IBM-360 y otros podrán cambiar su identificación acorde al equipo utilizado.

EXTRACTO DEL MANUAL PARA EL USO DEL PROGRAMA MUSIC-V.

Se destina sólo para el que va a componer en computadora

Advertencia: Este pequeño apéndice se incluye exlcusivamente para el lector que planea entrar en una computadora para componer música. El que no lo vaya a realizar puede saltárselo sin temor a perder continuidad en el texto. Por lo demás, no es de fácil lectura y exigirá una concentración especial de parte del lector. Se incluye sólo para cubrir todas las técnicas actuales aplicadas a la música. Personalmente lo considero una disciplina transitoria que tiende a desaparecer o a transformarse profundamente.

El manual es especializado y extenso

El extracto que presentamos pretende dar una imagen, lo más completa posible, del ambiente en el que se moverá el compositor al usar una computadora para sus obras. El manual del cual se extractó es extenso (160 páginas) y consiste fundamentalmente en una agrupación y descripción sumaria de las instrucciones que deben dársele a la máquina para que realice la generación sonora concebida por el compositor.

Esta versión del Music-V está orientada a la utilización de la computadora en modo conversacional, a través de una pantalla y teclado alfanumérico y con generación de sonidos en tiempo real, a diferencia del Music-4 descrito someramente en el texto y que fundamentalmente está orientado a entrada por tarjetas perforadas y salida sonora diferida.

El lenguaje es el Fortran

El lenguaje en el cual está construido el Music-V es el Fortran (siglas de *Formula translation*) y por ello las instrucciones que dará el compositor son de este tipo; en la mayoría de los casos con estructura mnemotécnica sobre la operación que se realiza.

Se verán las instrucciones más representativas

En este extracto veremos grupos de instrucciones representativas de cada familia de operación, pero no de la totalidad de ellas, considerando que el objetivo es la asimilación y claridad conceptual. También por esta razón el orden de presentación del manual ha sido alterado y sus conceptos simplificados en lo posible (el manual es difícil de comprender y normalmente va asociado al curso de 6 semanas mencionado antes, con asesoría y ayuda tutelar). De todos modos, el compositor que llegue a sentarse frente a una terminal de computadora, recibirá su

manual (algo distinto de éste) y mucha ayuda, pero si en esta breve exposición comprendió la "filosofía" del proceso, el camino le será familiar y se moverá con agilidad.

Al final del manual que compendiamos se halla una tabla resumida de las instrucciones y su operación (alrededor de unas 300, con las variantes posibles) que aquí por razón de espacio, omitiremos. La síntesis por computadora permite el control de los sonidos hasta sus mínimos detalles y estructuras. En una frase feliz, Berio expresa: "ahora podemos componer no sólo con los sonidos, sino aun componer los sonidos mismos". Y no deja de causar asombro la contemplación de un compositor de música frente a una terminal de la computadora "conversando" con ella, observando en la pantalla las órdenes y resultados y oyendo los sonidos que va formando, en un ambiente en que el artista crea los sonidos, "fabrica" sus propios instrumentos, compone la partitura musical y es el instrumentista múltiple, de sonoridades comparables a una orquesta sinfónica.

Esta versión del Music-V es la más poderosa a la fecha

La versión del Music-V presentada aquí, ha sido considerablemente desarrollada y mejorada en el IRCAM y está adaptada e implantada en la PDP-10 del Instituto, siendo a la fecha la versión más poderosa del Music.

Por ser una versión francesa y expandida del Music-4 visto antes, y por estar adaptada a trabajo en terminal, habrá ligeras diferencias en las claves e identificaciones, pero se advierte que la estructura es idéntica.

El comenzar este sumario por el índice general, (re-editado) dará al estudiante una visión previa de conjunto.

El índice dará una idea de conjunto

Indice General

1. El sonido en forma numérica.
2. Los programas y las tres "pasadas".
3. La partitura musical y los enunciados simples.
   - A) Los enunciados de control global.
   - B) Los enunciados especiales.
   - C) Los enunciados de notas y expresiones.
4. Los instrumentos y la modificación sonora (enunciados compuestos).
   - A) Salida de sonidos.
   - B) Cálculo de osciladores y envolventes.
   - C) Cálculos aritméticos.
   - D) Módulos aleatorios.
   - E) Módulos lógicos.
   - F) Módulos de lectura de archivos sonoros.
   - G) Cálculo de filtros y reverberación.
   - H) Módulos de modificación de campos.
5. Los generadores de funciones o de formas de onda.
6. El subprograma PLF de composición musical.
7. Representación gráfica de algunos módulos.

1. El sonido en forma numérica.

Cómo se forman los sonidos digitalmente

Ya vimos al principio del capítulo que los sonidos se "fabrican" digitalmente asignando valores numéricos sucesivos a la amplitud de la onda sonora, o lo que es lo mismo, a las variaciones de la presión atmosférica en cada instante (estamos hablando de cien milésimas de segundo) a modo de lograr una sucesión de tales valores, que identifiquen al sonido en todas sus características (amplitud, frecuencia, forma de onda...). Cada uno de estos valores asignados recibe el nombre de muestra.

Conversión de los sonidos a números y viceversa

Vimos también que un sonido real se puede convertir a números con la ayuda de un convertidor analógico-digital (A/D), el cual recibe la onda, lee los valores de su amplitud a intervalos regulares (la muestrea), y almacena en forma de una tabla estos valores sucesivos que la definen.

Este sistema se invierte fácilmente por medio de un convertidor inverso, llamado digital-analógico (D/A), y las ondas, numéricamente formadas por la computadora, son convertidas en valores sucesivos de amplitud (voltaje), los que se filtran y aplican a amplificadores y bocinas, dando finalmente sonidos reales (analógicos).

El muestreo

Este muestreo para ser válido y dar un sonido fiel, debe ser como mínimo, del doble de la frecuencia máxima que se desea sintetizar. Este valor, llamado frecuencia de muestreo, será de 40,000 muestras por segundo, si se desean sintetizar frecuencias hasta de 20 kHz. (o 20,000 ciclos por segundo). La frecuencia de muestreo puede ser seleccionada a voluntad en la máquina, siempre teniendo en mente que, a mayor frecuencia, las exigencias de cálculo y memoria sobre la computadora serán mayores y un compromiso debe ser establecido entre la fidelidad sonora y el tiempo y memoria de la máquina. Una solución de compromiso sería "ensayar" a régimen bajo de muestreo (unas 15,000 muestras/segundo) y sólo usar el máximo para la obra final terminada (40,000 muestras/segundo).

Muestreo de ensayo y de obra final

2. Los programas y las tres "pasadas".

Generación sonora, en tres pasos, en el Music-V:

También estudiamos que el Music requiere tres pasadas por la computadora para lograr la generación final de los sonidos (ver el texto y la figura V-7, paso 9). Repetiremos aquí la descripción, ahora bajo el punto de vista del usuario del programa, sentado ante una terminal pantalla-teclado

1. Lectura y análisis

Pasada 1. Lectura y análisis de la partitura del compositor (hecha en base a las claves que veremos adelante). Producción de un listado de errores y control (obligado). Listado (opcional) de la partitura, mediante la orden a la máquina: "PS1,1", tecleada en la terminal.

2. Arreglo sonoro cronológico

Pasada 2. Arreglo cronológico de los "enunciados" de la partitura (o sea los elementos sonoros dados en las claves que estudiaremos), clasificados por orden de aparición y tiempos de ejecución. Listado (opcional) de los enunciados con la orden "PS2,2". Listados parciales (opcionales) detallados con la orden "CTL".

Los listados de esta pasada son más difíciles de leer que los de la pasada 1, pues vienen con una gran cantidad de claves de interpretación. El manual proporciona estas claves y su significado en detalle. De paso anotamos que en esta pasada el programa pregunta qué idioma se usará en el diálogo: inglés o francés. En adelante usará el escogido.

3. Generación sonora

Pasada 3. Al término de las pasadas 1 y 2, si ya no hay errores, la pasada 3 (identificada como MV3) se inicia automáticamente. Consiste en el cálculo de las muestras a partir de las pasadas 1 y 2, sobre las claves "Nota", produciendo el archivo llamado Music MSB, que ya es el sonido (digital) propiamente dicho.

Para los compositores expertos en el lenguaje Fortran, es posible llevar a la computadora en esta pasada, al modo llamado "Fortran-Dialog", que representa un medio muy poderoso de interacción compositor-computadora para la composición musical.

El listado de la pasada 3 (obligado) contiene cada sección de la partitura y su duración, el muestreo mayor y menor en cada una de ellas, el tiempo de computación para cada una de las secciones, el número total de muestras fuera de los límites, y un listado global de toda la composición.

Al término de este listado, el archivo sonoro de la composición puede convertirse en sonido real mediante la orden "PLAY", que realizará la conversión D/A de los sonidos almacenados en forma numérica.

Múltiples detalles que facilitan la labor del compositor han sido omitidos, por razones de espacio.

3. La partitura musical y los enunciados simples.

La partitura en el código de la máquina

Para producir sonidos con la computadora, el músico debe dar al programa sus "instrucciones", que contienen la información necesaria para la síntesis sonora. El conjunto de tales instrucciones se llama partitura, y no es sino una versión, en código o claves de máquina, de la partitura real sonora.

Esta partitura está formada por un grupo de "enunciados", cada uno de los cuales representa una instrucción u orden al programa. En las tres pasadas anteriores ya hemos usado algunos de estos enunciados para solicitar las pasadas (PS1, PS2, CTL, etc.). El formato de los enunciados siempre es el mismo:

Formato de los enunciados

Palabra clave, campo, campo, campo,...;

un ejemplo:

NOTA 1.5 1 3.2 dB(60) Hz(440);

y su significado:

NOTA, que es la palabra clave, genera un sonido en forma digital y los campos establecen: iniciar este sonido en el segundo 1.5 con el instrumento número 1, con una duración total de 3.2 segundos, con una amplitud de 60 decibeles y una frecuencia de 440 hertz (La).

El programa acepta letras mayúsculas o minúsculas, pero sólo tienen significado las tres primeras y así:

NOTA es igual a Not, e igual a nota sostenida.

El punto y coma (;) indica el final del enunciado y es obligatorio, o la máquina seguirá leyendo hasta encontrarlo, pudiendo brincarse uno o varios enunciados, con fallas inevitables.

Los campos se separan, sea por comas (,) o por uno a varios espacios en blanco (llamados blancos). En fin, dos comas (,,) indican un campo vacío o cero.

La presentación de la partitura en clave es naturalmente confusa, pero el compositor tiene el recurso de intercalar, donde y cuando desee, los llamados "comentarios", los que serán escritos por la máquina en la pasada 1, ignorándolos en lo sucesivo y no formando parte de ningún proceso.

Los "comentarios" ayudan a la claridad y control de la partitura

Hay dos formas de introducir los comentarios, la más común es mediante un corchete al principio y al fin de la f ase que se desea como orientación al compositor, y así:

NOTA, [tiempo de inicio] 1.5, [número de instrumento] 1,
[duración] 3.2, [amplitud] dB (60), [frecuencia] Hz (440);

Este enunciado es idéntico al anterior, pero los comentarios aparecerán en el listado de la pasada 1. El Music-V tiene varios tipos de enunciados conforme a los datos requeridos para identificar a cada uno de los elementos de la síntesis sonora, pero básicamente pueden agruparse en dos: los enunciados de instrumentos, que son enunciados compuestos (recuérdese la gran cantidad de elementos necesarios para definir una simple nota) y todos los otros enunciados que, aunque varían su estructura, pueden considerarse simples (como el anterior). El estudio lo haremos de los enunciados simples a los compuestos.

Para terminar con la partitura y como una ayuda adicional al compositor, ésta quedará organizada en secciones. El Music-V leerá, analizará, compilará (traducirá al lenguaje de máquina), y ejecutará (llevará a cabo) la partitura, sección por sección y siguiedo siempre este mismo orden. Cada sección se termina con un enunciado de la forma SEC t; donte t es la duración total de la sección. La última sección (y sólo puede haber una) se termina con el enunciado FIN; o también TER t;.

3A. Los enunciados de control global.

Los controles globales de la partitura

Ciertos elementos en una composición musical afectan a todas las partes de que está formada. Cuando se realiza su síntesis numérica, la mayoría de ellos son medios de organización (listados, idioma usado), pero algunos afectan al sonido producido (metrónomo, frecuencia de muestreo). Todos son enunciados simples y tienen la misma sintaxis:

Palabra clave n;

donde n es un número o expresión numérica.

Estos enunciados pueden situarse en cualquier parte de la partitura, excepto en el interior de una definición de instrumento. Como estos enunciados afectarán a toda la partitura, deberán colocarse al comienzo de ésta. Veamos algunos de ellos y lo que significan:

FRA; Los mensajes se piden en francés.
ENG; Los mensajes se piden en inglés.
SAM n; Frecuencia de muestreo en Hertz.
SRA n; Idem (siglas de *sampling rate*).
CHA n; Número de canales a usarse (n=1, 2, ó 4).
NCH n; Idem. Si no aparece ninguno, será monofónico.
PS1 n; Reporte o listado en pasada 1.
Si n=0, no hay listado; si n=1 se producirá.
PS2 n; Reporte de pasada 2.
Si n=0, no hay listado; si n=1, listado de enunciados en forma numérica clasificados.

PNB n; Complemento al reporte de pasada 2.
Si n=0, no hay listado; si n=1, impresión de enunciados NOTE.

P3P n; Reporte de pasada 3.
Si n=0, no hay listado; si n=1, impresión sobre la terminal; si n=2, pasar el reporte a disco magnético; si n=3, pasar la máquina a modo FORTRAN-DIALOG, sólo para los compositores que conocen el lenguaje de máquina FORTRAN.

CL3 n; Llamado de la pasada 3.
Si n=0, diferir pasada 3;
si n=1, iniciar pasada 3 (si ya no hay errores).

CLP n; Llevar el sonido a un convertidor D/A para oírlo.
Si n=0, no se oirá;
si n=1, llamar al códico PLAY al fin de la pasada 3 para oir el sonido.

MET n; Fijar el metrónomo a n pulsaciones por minuto.

MM n; Idem.

Con estos enunciados globales pensamos que el lector tendrá una clara idea de su sintaxis y forma de operación. Nótese que en general son letras que recuerdan palabras en inglés.

3B. Los enunciados especiales.

Los enunciados de acción especializada

Son también enunciados simples y de fácil comprensión y veremos cuatro de ellos.

Ya vimos que el corchete ([]) permite la inclusión de comentarios en la pasada 1. Ahora bien, mediante el enunciado:

PRT t texto; donde t es el tiempo y texto es el comentario deseado, podemos incluir comentarios en todas las pasadas. El texto puede contener cualquier letra o símbolo (excepto, por supuesto, el ;) y su longitud está limitada a 96 palabras, o sea 480 caracteres (96 x 5, pues las palabras en el Music-V tienen 5 caracteres).

HDR t texto; t y texto con el mismo significado que el anterior.

Este enunciado se comporta como el anterior, pero adiciona el encabezado *(header)* en el listado, que contendrá: frecuencia de muestreo, número de canales, valor del muestreo máximo, tipo de convertidores solicitados D/A y A/D. Este encabezado podrá ser leído por otros programas y podrá contener hasta 63 palabras (o sea 315 caracteres).

INSTR;
Nombre número;
Nombre número;
.....
End;

Permite asignar nombres a los instrumentos, hasta de 5 letras, y que, una vez asignados, se pueden llamar mediante el enunciado PLAY + nombre del instrumento.

PRINT; Imprime los valores de algún dato en la terminal. En modo interactivo compositor-terminal, permite el sondeo de los archivos, para obtener su información, por ejemplo:

PRINT do; Imprimirá el valor en hertz de la nota do.

PRINT NCHNS; Imprimirá el número de canales usados.

3C. Los enunciados de Notas y Expresiones.

Las notas y el contenido interno de los enunciados

Previo a los enunciados de instrumentos, que son más complejos en su composición, y como medio para comprender bien la estructura y el funcionamiento de sus campos, diremos que algunos pueden funcionar como entradas numéricas y por ello podremos introducir:

Los blocs "B"

a) Un bloc (B) que sea salida de otro módulo.

b) Constantes o expresiones numéricas, como 1000 ó dB(60) ó Hz(440).

c) Los datos de un enunciado NOTA (como el visto antes).

Los campos "P"

Vamos a ser más extensos respecto a los campos de los enunciados NOTA. Cada uno de sus campos se designan con las letras Pn, donde n es el número del campo y puede ser cualquiera, excepción hecha de los números 1 a 4 que tienen significados obligados:

P1 es la palabra clave NOTA y no se debe usar.

P2 es el tiempo del ataque de la nota en segundos (t).

P3 es el número de instrumento que lo usa (i).

P4 es la duración de la nota en segundos (duración).

del P5 en adelante son los parámetros de los diferentes módulos y contienen expresiones numéricas.

Los campos variables "V"

d) Existe la posibilidad de que una entrada numérica varíe en la pasada 3. En este caso, el campo se designará como Vn y será común a todos los instrumentos de la partitura. Debemos aclarar que el enunciado NOTA es particular para cada sonido y no variará.

Las funciones "F"

e) Algunos módulos usan formas de onda almacenadas en la memoria de la máquina (funciones) y se les designa con un campo identificado como Fn, donde n es el número de la función que puede ser de 1 a 75.

f) Para terminar, los módulos lógicos (mayor que, menor que, igual a...) se identifican como Tn, donde n es el número secuencial del módulo en el instrumento de que se trate, es decir: T1 es el primer módulo, T2 es el segundo, etcétera.

Para aclarar conceptos, veamos un ejemplo de módulo de tipo general:

OS3 P5 V6 B7 B4 F1;

este módulo nos representa un oscilador (OS3)
(veremos en detalle los osciladores más adelante)..

P5 Es el campo del enunciado NOTA, que conforme a su duración será la que dé la amplitud al oscilador.

V6 Es un número que podrá variar en la pasada 3 (variable) y que nos determina la frecuencia.

B7 Es la salida de un módulo que se estructuró anteriormente y en este caso es la conexión que modulará la frecuencia del sonido del oscilador.

B4 Este bloc será la salida del oscilador, que en este caso está usando la función F1.

Los instrumentos del Music-V pueden tocar simultáneamente varias notas diferentes, y en este caso se usarán 2 o más campos Pn, que ocuparán partes diferentes de la memoria de la máquina por acción independiente. De hecho, para economía de memoria, se accionan los mismos módulos de los instrumentos, pero con valores distintos.

A esta propiedad se le llama re-ingreso (*réentrance*) ya que los módulos son leídos y releídos.

Pasemos ahora a las "expresiones" que definiremos aquí como el contenido (números constantes, variables, campos L, campos P) de los enunciados, sean estos de tipo NOTA, Instrumento, y en general de los enunciados leídos e interpretados en la pasada 1 principalmente y secundariamente en la pasada 2 (los instrumentos). Veremos estas expresiones por número de pasada:

Pasada 1. Todas las expresiones se evalúan al comienzo de esta pasada, por lo que deberán estar bien definidas. Pueden entrar en esta pasada:

a) Constantes, que se tomarán como números reales (por ejemplo: 3, 8, 6.5, 7.3, etcétera).

Variables libres

b) Las variables definidas por el usuario es decir, con su valor ya asignado, por ejemplo:

```
duración= 5.6;
NOTA 0 1 duración 60 440;
NOTA 0 1 duración 50 330;
```

En este caso, las dos notas tienen la misma duración de 5.6 segundos, pues a la variable "duración" se le asignó al inicio ese valor. En lo sucesivo, cada vez que la máquina encuentre "duración", asignará un valor de 5.6 segundos. Otras variables son identificadas por letras, y también por # y &. En los casos de letras, sólo las cinco primeras son significativas y las otras son ignoradas. Los número son inválidos y se advierte que algunas variables ya tienen valores pre-establecidos como:

Variables reservadas

PI	Con su valor conocido como 3.1415926536...
do, re, mi...	Contienen las frecuencias en hz. de la escala temperada en base al La de 440 hz.
C, D, E...	Mismas notas, pero en inglés.
do#, re#, mi#...	Son las notas con sostenidos.
Cs, Ds, Es...	Notas con sostenidos, pero en inglés.
do&, re&, mi&...	Notas bemolizadas.
Cf, Df, Ef...	Notas bemolizadas, pero en inglés.

Otras variables que no puede definir el usuario, informan del estado del programa:

NCHNS	Número de canales (*channels*).
SRATE	Frecuencia de muestreo (*sampling rate*).
FLNGH	Largo de las funciones (*function length*).

Los campos "L"

c) Los elementos L n se refieren a los campos n de los enunciados inmediatamente anteriores, y toman su valor en la pasada 1, en lo sucesivo, al encontrarse la máquina con esos campos, sustituirá los valores iniciales, por ejemplo:

```
NOTA 0 1 1 60 440;
NOTA 0 1 L4 L5 L6;
```

El segundo enunciado tomará los valores del primero en sus campos, 4, 5 y 6, y por ello, los dos enunciados son iguales.

d) Los elementos P n se refieren en la pasada 1 a un campo previo del enunciado que se está armando (compilando), ysustituirá su valor, por ejemplo:

```
NOTA 0 1 1 440 P5 P5;
```

En este caso, como en el campo P5 vale 440, al repetir P5 y P5 en los campos P6 y P7, éstos tomarán el 440 de P5 quedando el enunciado igual a:

```
NOTA  0  1  1  440  440  440;
```

Los operadores aritméticos

Pasada 1 y 2. Los elementos vistos antes (y otros omitidos por falta de espacio) pueden ser afectados por los operadores aritméticos usuales, con los símbolos indicados: suma (+), resta (–), multiplicación (*), división (/), exponenciación (**) y módulo (:). Su orden de prioridad en la ejecución es inverso al orden en que se anotó. En caso de prioridad igual, la operación será de izquierda a derecha. Se utilizan también los paréntesis como en álgebra y la operación procederá de los paréntesis interiores a los exteriores. Pueden emplearse también las funciones trigonométricas y logarítmicas: sen(x), cos(x), log(x): este es el logaritmo a base 10, logD(x): este es a base 2, etcétera.

Terminamos las expresiones, anotando otras funciones varias que deben definirse antes de las pasadas 1 y 2:

Funciones varias

Lire — Significa leer y se usa para que la máquina lea la terminal del compositor, permitiendo la operación interactiva en la ejecución del Music-V.

ATDK — (Pi, Pj, Pk, At, Ch) esta función sólo está permitida en los instrumentos y se usa para generar una envolvente. Pi, Pj y Pk son 3 campos destinados a un módulo ENV (envelope, que veremos adelante) y que contiene la envolvente en su ataque, duración y decaimiento. (P es forma de onda) At, es el tiempo de ataque. Ch (*chute* en francés) es el tiempo de decaimiento.

RAN — Esta función da un número aleatorio (*random*) distribuido uniformemente entre 0 y 1 (ruido blanco).

Con los conceptos anteriores estamos ya en posibilidad de asimilar los enunciados compuestos que forman a los módulos de los instrumentos y modificadores sonoros. Estos son esencialmente módulos de cálculo, ya que la computadora los obtiene mediante cálculos numéricos, por lo demás bastante complicados y laboriosos.

4. Los instrumentos y la modificación sonora (enunciados compuestos).

Los enunciados que son grupos de enunciados, definen a los instrumentos

En un trabajo normal, el compositor definirá inicialmente sus instrumentos y sus formas de onda, enseguida especificará las notas que deben "tocarse". Podrá generar también, controles de la obra (frecuencia de muestreo, tipo de convertidores, número de canales, etc.) y también podrá usar enunciados especiales para los casos no anotados antes.

Los módulos de cálculo que veremos ahora se refieren esencialmente a los instrumentos y modificadores sonoros y definen la secuencia de operaciones necesarias para calcular los sonidos, (o algoritmos de síntesis sonora, en la jerga técnica).

Una definición para un instrumento completo comprenderá varios enunciados y por ello será un enunciado compuesto, a diferencia de todos los demas vistos. Comprenderá un conjunto de "enunciados módulo" (como osciladores, filtros, envolvedores, reverberadores, etc.) que vienen a ser los elementos básicos que el compositor interconectará en una forma similar a como se realiza en un sintetizador analógico.

Inicio y fin de un enunciado instrumental

Las definiciones de instrumento se inician por un enunciado:

INS t i ; y se terminan por uno END;

donde t es el tiempo, en segundos y fracción, a partir del cual el instrumento aparece (y se define) en la pasada 3, con base al inicio (tiempo=O) de la sección correspondiente; i es el número entero identificador del instrumento, comprendido entre 1 y 100.

Entre estos dos enunciados (INS y END) habrá normalmente varios enunciados (módulos simples), de la forma estudiada: Nombre del módulo campo campo campo;. Cada módulo es una unidad de cálculo de base y realiza una función precisa.

Las conexiones de los enunciados se realizan con los blocs

Las interconexiones digitales de los módulos del instrumento se realizan por medio de los llamados "Blocs B", que son tablas de secuencias numéricas de las muestras producidas para cada módulo en particular y que están almacenadas en diferentes partes de la memoria de la computadora. La longitud de un bloc la define el compositor o en su defecto lo hace el Music-V con 512 palabras digitales (de 16 dígitos binarios cada una). La identificación de los blocs se escribe como "Bn", donde n es el número del bloc, desde 1 hasta 100.

Los primeros blocs de la lista están reservados para la salida sonora final, siendo B1 para monofonía, B1 y B2 para estereofonía y B1 a B4 para tetrafonía o cuadrafonía.

Al llegar a la pasada 3 se calculan las notas en el orden presentado por el compositor en su partitura. Para el caso de notas simultáneas, se calculan primero las del instrumento 1, después las del 2, y así sucesivamente. Ya vimos que es posible hacer que los primeros instrumentos calculados controlen a los siguientes en sus parámetros iguales, mediante la conexión del mismo bloque B que contiene los datos del primero (controlador) sobre el segundo (controlado).

4A. Salida de sonidos.

La salida de los sonidos puede ser monofónica, estéreo o cuadrafónica

En el Music-V, los Blocs B1, B2, B3,... hasta B100, contienen las señales en forma de dígitos, o sea las muestras de valores de intensidad en función del tiempo. En las etapas intermedias de la producción de sonido, estos blocs pueden usarse en lo que se desee (amplitudes, frecuencias). Ya vimos que ciertos blocs (los primeros de la lista) serán reservados para el sonido. El número de canales no cambiará en todo el curso de una partitura y se deberá especificar al principio el enunciado de control:

CH n; (n= a 1, 2 ó 4) o bien

NCH n; (igual).

En el caso de que ninguna aparezca, la pieza será monofónica. La pasada 3 es iniciada poniendo a cero (silencio) los blocs de salida. Enseguida se realizan los cálculos para todos los módulos de todos los instrumentos y para todas las notas que producirán. El tamaño usual

de los blocs se fija en 512 muestras, pero se tiene la opción de cambiarse mediante BLN n; donde n es el nuevo tamaño.

Cuando todos los módulos se han calculado, el resultado final estará en los blocs de salida. Para la salida monofónica, se puede usar el módulo OUT Bn B1; donde Bn es un bloc que contiene el sonido resultante del cálculo del oscilador, de un filtro o de un grupo de módulos. Por ejemplo: si OUT B5 B1, ésto significaría que el sonido contenido en el bloc 5 se pasará al bloc 1, que está en ceros o silencio. Recuérdese que estamos generando sonidos y pasándolos a los blocs de salida.

Para la salida estereofónica se usa el módulo STR Bn Bm B1; donde el bloc Bn va al canal izquierdo y el Bm al derecho. Las muestras de Bn y Bm se adicionarán alternativamente (Bn–Bm–Bn–Bm, etc.) sobre el doble bloc de salida B1B2.

Para la salida cuadrafónica, se usa el módulo QAD Bn Bm Bp Bq B1; con funcionamiento similar al estéreo.

Ver la representación gráfica al final, número 7.

4B. Cálculo de osciladores y envolventes.

Las ondas se calculan para un solo ciclo y los valores se almacenan

Una gran parte de los sonidos producidos por los sistemas de síntesis numérica, están formados de elementos periódicos o cuasi-periódicos, es decir, de formas de onda repetidas varias veces en forma cíclica e idéntica. Estos sonidos periódicos pueden ser modulados en frecuencia, en amplitud, puede ser combinados, reverberados... y el resultado final es en ocasiones, muy lejos de ser periódico, aún si fue sintetizado por elementos que lo eran. Estos módulos son la columna vertebral del Music-V y el sistema de estructuración ya lo hemos visto antes: a partir de una tabla con los valores numéricos de una forma de onda precalculada y almacenada en memoria (las funciones), los osciladores producen estas señales. Esta técnica de funciones precalculadas es necesaria a causa de la enorme cantidad de cálculo demandada para la producción de un sonido. Por ejemplo, para una onda senoide sería catastrófico el calcular 20,000 veces por cada segundo la función senoide que, de todos modos, después de 1/20,000 de segundo se repetirá igual. Es más lógico y más eficaz calcular una sola vez un ciclo completo, almacenar el resultado en una tabla (la función) y consultar esos valores cada vez que la señal se requiera, adaptando la lectura de este único ciclo en función de la frecuencia deseada, como lo vimos al inicio de este capítulo.

Las formas de onda se producen por los generadores de función GEN. Estas funciones se hallan dentro de los módulos OSC (oscilador) en los campos F n que vimos antes, donde n es el número de la función. Su estructura es la siguiente:

OSC A Fr S Fo T ;

OSC Es la palabra clave del módulo.

Fo Es la función que usará el módulo y es un campo de la forma Fn (F1, F2, F3,...) que debió haber sido calculado previamente por un GEN al inicio de la primera nota que produzca este instrumento. De no ser así, en la pasada 2 se detectará como error.

Fr — Es el parámetro que controla la frecuencia del oscilador. La frecuencia no viene expresada en hertz, sino en "pasos", pero el Music-V se encargará de la conversión al recibir hertz del compositor.

A — Es la amplitud de la onda, que variará entre +2047 y −2047 unidades, para los convertidores de 12 bits que usa el Music-V; el que también compensará automáticamente para los archivos sonoros numéricos destinados a convertidores de 16 bits, donde la amplitud va de +32767 a −32768. En este caso las muestras se multiplican por 16 antes de pasar a los archivos de salida. También pueden convertirse estos valores a decibeles y será más cómodo su manejo.

S — Es la salida del oscilador y es normalmente un Bloc Bn.

T — Es un valor temporal y contiene la suma de los "pasos" (conforme a Fr). Normalmente este parámetro no se especifica y la pasada 3 tomará cualquier campo libre P que esté en cero, al iniciarse la nota que se desea almacenar.

Explicación detallada de la generación de una onda senoidal

Como este concepto del oscilador es fundamental, pondremos un ejemplo: deseamos generar una nota senoidal de frecuencia= 440 hz. y amplitud= 1,000. La siguiente partitura será escrita:

El primer paso es generar la senoide, por medio de la función GEN:

```
GEN  0  2  1  4096  1  1;
```

Lo que significa: El generador de tipo 2 calcula la función 1 que contiene un ciclo de una senoide. El formato de un GEN es:

```
GEN  t  tipo  No.  largo  parámetros...;
```

t — Tiempo, normalmente 0 para inicio.

tipo — Existen varios tipos que veremos después, el tipo 2 es un generador de senoide.

No. — Es el número de la función generada, en nuestro caso la primera o sea la número 1.

largo — Es el tamaño de la función, que debe ser una potencia de 2, en nuestro caso $2^{12}=4096$. Este número es a deseo del compositor, a mayor número, mayor fidelidad, pero mayor tiempo de máquina y memoria, como vimos antes.

parámetro — Representa la amplitud, en nuestro caso=1, que es el máximo para la senoide. Todas las amplitudes están normalizadas a 1 como máximo.

El segundo parámetro es el contenido de una cosenoide. La forma de onda de la cosenoide es igual a la de la senoide pero desplazada un cuarto de ciclo (90° de diferencia de fase). Esta cosenoide forma parte obligada del formato. En nuestro caso el coseno de frecuencia cero vale 1 y ese valor se pone, para que no haya componente de coseno en el sonido que generamos.

La segunda instrucción de la partitura será:

```
INS  0  1;
```

recordemos que el formato es:

```
INS  t  i;
```

que es la definición de un instrumento donde:

t — Es el tiempo de la pasada 3, en nuestro caso el inicio=0.
i — Es el número del instrumento, en nuestro caso el 1.

la tercera instrucción:

```
OSC  P5=dB(P5)  P6=Hz(P6)  B5  F1;
```

El formato base del oscilador es:

```
OSC  A  Fr  S  Fo  T;
```

donde:

A — Es la amplitud, convertida a decibeles en el parámetro P5 (P5 es el parámetro de NOTA).
Fr — En nuestro caso es el parámetro 6, convertido a hertz, en lugar de "pasos".
S — Es la salida del oscilador y se producirá en B5 (bloc de salida).
Fo — Es la función, en nuestro caso la 1(F1), donde está la función generada anteriormente por GEN.
T — Es un archivo temporal que no se requiere especificar (Music-V lo asigna).

Sigue la instrucción para la salida del sonido:

```
OUT  B5  B1;
```

cuyo formato original es:

```
OUT  Bn  B1;
```

donde:

Bn — Es el bloc de salida, en nuestro caso B5, que contiene el sonido resultante del cálculo del oscilador.
B1 — Es bloc para salida monofónica.

La siguiente instrucción termina el enunciado del instrumento:

```
END;
```

Pero sigue la secuela con:

```
NOTA  0  1  2  60  440;
```

cuyo formato original:

```
NOTA  t  i  duración  P5  P6  P7  ...;
```

que para este caso:

t — Es el tiempo de inicio, aquí en cero segundos=0.
i — Es el número del instrumento=1.
duración — Es de 2 segundos (asignación del compositor).
P5 — Es la amplitud y aquí es de 60 db.
P6 — Es la frecuencia y aquí es de 440 hz.

La última instrucción:

```
FIN;
```

que es el fin de la partitura.

En la forma normal para ser tecleada en la terminal esta mini-partitura se escribiría así:

```
GEN  0  2  1  4096  1  1;
INS  0  1;
OSC  P5=dB(P5)  P6=Hz(P6)  B5  F1;
```

La partitura completa para ser introducida a la máquina

```
OUT    B5   B1;
END;
NOTA   0    1    2    60    440;
FIN;
```

Este sonido generado tiene aún problemas, ya que su inicio sera repentitino y se oirá un ruido (clic). Para evitarlo se deberá, mediante un segundo oscilador, llevar progresivamente la onda de 0 a 60 db. (ataque), dejarla estable en ese valor por los dos segundos (duración) y reducirla de 60 db. a 0 con la suavidad necesaria para evitar el ruido (decaimiento). Este mecanismo le dará la función DUR preparada para este objeto y que da una envolvente (como un trapecio) con ataque y decaimiento sólo lo suficiente para evitar los clics.

Es posible imprimir también vibrato a la onda generada mediante otro oscilador de unos 5 a 8 hz., aplicados a ella. ¿Recuerda el lector todos los elementos de un sonido musical?

Estructura de varios osciladores

Otros tipos de osciladores son:

AOS — Similar al OSC pero con una entrada adicional que puede usarse para Blocs, Notas, números, etc., lo que simplificaría nuestra partitura anterior, al permitir la entrada de la función DUR directamente.

IOS — Similar al OSC, con la diferencia de que el cálculo de la onda se hace por interpolación lineal en vez de por truncamiento (o interrupción de la lectura de las muestras), lo que da una mayor precisión y por lo tanto una fidelidad sonora superior.

IAS — Similar al AOS (con entrada adicional), pero con interpolación lineal también.

OS3 — Es un oscilador interpolador con doble control: de frecuencia y de fase (Ph), por contener componentes senoides y cosenoides. Muy útil para controlar con extrema facilidad y precisión la modulación de frecuencia de la onda generada.

La representación gráfica de un oscilador aparece al final del "extracto".

Las ondas de las envolventes

Veamos ahora las envolventes. En el Music-V es posible usar un oscilador como control de una envolvente, pero como el ataque y decaimiento dependerán de la duración de la nota, normalmente esto no es deseable.

Los módulos de envolvente permiten el control exacto mediante la independencia de los tres pasos normales acostumbrados. Las formas de onda usuales se dividen en cuatro partes: ataque, duración, decaimiento y decaimiento, sin embargo las funciones más utilizadas, la ATDK y la ENV, sólo usan las tres primeras partes. Su sintaxis es:

```
ENV    A    Fo    S    Fn1    Fn2    Fn3    T;
```

A — Es la amplitud.

Fo — La función.

S — La salida.

Fn1 a 3 — Son las tres primeras partes de la envolvente.

T — Es un elemento temporal para la suma de los "pasos".

La función ATDK realiza los tres pasos a la vez:

```
ATDK    (Pi,    Pj,    Pk,    At,    Ch);
```

Pi, Pj y Pk son los mismos campos Fn1, Fn2 y Fn3 anteriores. At y Ch son los tiempos de ataque y decaimiento (*chute*=caída en fr.). Existe otro módulo para generar envolventes, es el IEN, análogo al ENV, pero con interpolación lineal, para gran precisión y control. Existen otros módulos pero son complejos de generar y tienen uso restringido, por lo que ya no los veremos. La grafía de la envolvente la veremos al final.

4C. Cálculos aritméticos.

Las operaciones aritméticas con los elementos sonoros

Estos módulos permiten efectuar operaciones sobre las señales o parámetros de los módulos. Como son sencillos los veremos rápidamente y en forma de lista:

AD2 Con formato AD2 I1 I2 S; es el sumador de las entradas I1 e I2 y coloca el resultado en S. Las entradas I pueden ser Blocs, Notas, variables de pasada 3, números o constantes. La salida S es generalmente un Bloc. Un corto ejemplo:

AD2 B3 B4 B6;

realiza; B3+B4=B6, o sea suma el contenido de los blocs B3 y B4 y pone la suma en B6.

AD3 yAD4 Son sumadores que poseen 3 y 4 entradas respectivamente, con sus bloques correspondientes. La salida S recibirá la suma total.

SB2, MLT y DIV., Con formatos iguales a los anteriores, o sea:

SB2 I1 I2 S; MLT I1 I2 S; DIV I1 I2 S;

realizan respectivamente la resta, multiplicación y división de sus dos primeros campos.

ZRB Con formato ZRB Bn; simplemente pone en cero el bloc especificado.

Otros módulos aritméticos realizan operaciones, tales como elevar a potencias, probar mayor, igual o menor que (>, =, <), etcétera, pero no los veremos. La representación gráfica está al final.

4D. Módulos aleatorios.

Los generadores de funciones aleatorias

Permiten fabricar señales parcial o totalmente compuestas por números aleatorios, que podrán formar parte de un sonido o controlar otros módulos.

RAH Con formato RAH A Fr S T1 T2; genera números aleatorios uniformemente distribuidos entre los valores +A y −A. Fr. es un "paso" análogo al usado en los osciladores y podrá usarse también hz., para asignar una frecuencia a los números producidos por este módulo y que serán multiplicados por la amplitud A. S es la salida del módulo. T1 y T2 son memorias temporales, a juicio y organización del Music-V. Por ejemplo:

RAH 500 Hz.(SRATE) B6;

producirá números aleatorios entre +500 y −500 que cambiarán en la misma relación de la frecuencia de muestreo (SRATE), cambiando a todas y cada una de las muestras originales y depositando el resultado final (aleatorio) en el Bloc B6.

RAN Funciona como el anterior pero en vez de conservar los valores, interpola entre los números aleatorios produciendo, si se aplica al sonido, un efecto similar al ruido rosa del sintetizador analógico. La grafía de este módulo aparece al final.

4E. Módulos lógicos.

El control de la partitura por decisiones lógicas

Prueban ciertas condiciones a lo largo de la composición y modifican el proceso subsiguiente en función del resultado de la prueba realizada. La prueba se basa normalmente en una comparación, por ejemplo:

TGT I1 I2 Tn;

este módulo compara las entradas I1 e I2. Si I1 es mayor que I2, el programa se derivará a Tn y de allí tomará su siguiente instrucción, pero si no es mayor (sea igual o menor), entonces la secuela del programa seguirá normal con el módulo siguiente a TGT. I1 e I2 pueden ser blocs, parámetros, constantes, etcétera. Ver al final su representación gráfica.

Otros módulos lógicos prueban diferentes relaciones entre I1 e I2:

TGE	I1	I2	Tn;	significa saltar a Tn si $I1 \geqslant I2$
TLT	I1	I2	Tn;	significa saltar a Tn si $I1 < I2$
TLE	I1	I2	Tn;	significa saltar a Tn si $I1 \leqslant I2$
TEQ	I1	I2	Tn;	significa saltar a Tn si $I1 = I2$
TNE	I1	I2	Tn;	significa saltar a Tn si $I1 \neq I2$

Y por último el salto incondicional TRA Tn; que transfiere la secuencia de proceso a Tn siempre, lo que permite llegar a un lugar común (Tn) cuando se han hecho transferencias previas, ignorando las condiciones del salto.

4F. Módulos de lectura de archivos sonoros.

La lectura de los sonidos externos

Permiten leer y tratar a los archivos digitales de sonidos, ya sean sintéticos o naturales previamente digitalizados (qué extraña palabra, ¿será digitados?) y almacenados sobre discos magnéticos de computadora. Con estos módulos es posible filtrar, mezclar, modular en frecuencia o amplitud o someter a cierto tratamiento particular cualquier sonido de los archivos.

En el Music-V los archivos sonoros se identifican por un entero positivo llamado "identificador numérico". Su formato es:

FIC t N[DISC: ARCHIVO.EXT (P, PN)]

t Es el tiempo.

N Es el identificador numérico (entero positivo).

DISC, ARCH, etc., Es el nombre del archivo en la forma habitual de la computadora (en el IRCAM la PDP-10). Cabe advertir que un proceso del Music-V en otra computadora, tendrá necesariamente otra sintaxis.

Los módulos de lectura son: LUM, LUS y LUC y su formato es igual para todos:

A R S N Td D Fi T1 T2 T3 T4;

A Es un modulador de amplitud para el archivo leído.

R Es un indicador de velocidad entre la lectura del archivo y el de salida de Music-V.

S Es uno o varios blocs de salida (S1, S2, S3...).

N Es un identificador numérico del archivo por leer, asociado a un enunciado FIC, como el de arriba.

Td Es el tiempo de partida en segundos y fracción de la lectura (0= inicio).

D y Fi Son dos conexiones en segundos y fracción indicando la posición (o terminal de conexión) donde se hará la lectura. (D es la conexión inferior y si es =0, será el inicio del archivo. Fi es la conexión superior y si =0 es fin del archivo).

T1 a T4 Son varios parámetros temporales que Music-V seleccionará y que no deben ser especificados.

De todos los campos anteriores, sólo los cinco primeros son obligatorios, los otros valdrán 0 (cero) si no se especifican.

El formato anterior tiene dos variantes: LUS para sonido estéreo y LUQ para sonidos cuadrafónico, ambos con formato:

```
LUS A R S1 S2 N Td D Fi T1 T2 T3 T4 T5;
```

que es igual al monaural pero con dos salidas y un temporal más:

```
LUS A R S1 S2 S3 S4 N Td D Fi T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7;
```

Con cuatro salidas y 7 temporales.

4G. Cálculo de filtros y reverberación.

Los filtros y los reverberadores digitales tienen la misma estructura

Los filtros numéricos se logran mediante una combinación de las muestras de entrada y salida de cierto módulo a las cuales se les hace sufrir un retraso respecto al tiempo. Para el caso de un reverberador, el retraso es mucho mayor para simular los ecos que se producen en un recinto cerrado.

El siguiente módulo es un filtro de paso de banda:

```
FLT   E   S   X1   X2   T1   T2;
```

E Es la entrada del filtro.

S Es la salida.

T1 y T2 Son dos parámetros temporales, habitualmente no especificados.

X1 y X2 Son los elementos del filtro y se calculan a partir de la frecuencia central y el ancho de banda del mismo.

Otros filtros son los LP1, LP2 y LP3 que son del tipo de paso de banda baja y su sintaxis, con los mismos elementos anteriores, es:

```
LP1  E  S  T1;
LP2  E  S  T1  T2;
LP3  E  S  T1  T2  T3;
```

La diferencia entre ellos es que LP2 equivale a dos LP1 en serie y su respuesta o corte es más suave. El LP3 equivale a tres LP1 en serie y su respuesta o corte es aún más suave.

Los módulos FH1, FL1 y FB1 tienen todos la misma sintaxis:

```
E   S   X   T1   T2;
```

y también la misma técnica de filtrado. El primero es de paso de banda alta, el segundo de banda baja y el tercero de paso de banda. E es la entrada, S la salida, T1 y T2 son temporales sin obligación de ser especificados y X controla las frecuencias de corte.

Los filtros PRL y CSC permiten combinaciones múltiples de filtros en arreglos serie, paralelo o mixtas, para filtrar o reverberar.

Un reverberador digital viene a ser un filtro normal, pero con gran retraso en tiempo, de la onda que pasa a través de él. Cada uno de estos retrasos aplicados a la onda, simula una reflexión sobre un muro de la sala de la que se desea imitar la reverberación.

Un eco simple puede ser obtenido con el módulo reverberador:

RVO E a1 a2 X S T;

a1 y a2 Especifican las variables V o los parámetros P del módulo.
E Es la entrada.
S La salida.
T Un temporal igual que antes.
X Es un multiplicador aplicado a la amplitud en la entrada E y que llamaremos "ganancia del reverberador". Así pues, la salida será la suma de la entrada y de un eco de la entrada, de amplitud relativa X y con un retraso en tiempo.

Un ejemplo de reverberador

Vamos a suponer que deseamos un eco de amplitud relativa (al sonido de la entrada) de 0.7 del sonido contenido en el Bloc B6 y con un retraso de 100 milisegundos. El módulo tomará la forma y valores:

RVO B6 V1 V(0.1*SRATE) 0.7B6

En este caso hemos usado la frecuencia de muestreo SRATE que ocurre en un segundo, para determinar el retraso de 100 mseg. (0.1 seg.). Este reverberador se comporta también como un filtro y da color a los sonidos.

El módulo RV3 E a1 a2 X S T;
produce también un eco, pero recursivo; es decir, que se obtiene tambien el eco del eco. La ganancia X de este módulo debe, por lo tanto, ser inferior a 1 o si no la salida crecerá indefinidamente. En este módulo la entrada también sufre un retraso (a diferencia del anterior), puesto que X no multiplica al sonido de entrada sino al de salida del módulo.

Definición del tiempo de reverberación

Normalmente la técnica consiste en dar al reverberador el tiempo suficiente para que logre su atenuación total. El tiempo de reverberación se define como los segundos y fracción para que el sonido caiga 60 db., de su amplitud inicial. Los mejores efectos se obtienen poniendo varios RV3 en paralelo y con retrasos diferentes y se ha encontrado que de 4 a 6 módulos son suficientes en un trabajo normal, para simular las dimensiones de cualquier cámara reverberante.

El módulo RV1 E a1 a2 X1 X2 S T1 T2;
es similar al RVO, pero permite obtener una reverberación no "coloreada", mediante un respuesta totalmente plana a todas las frecuencias.

Por último, el reverberador RV2 E a1 a2 X1s X2 S T1 T2;
atenua a las altas frecuencias en forma similar a como sucede en una reverberación real, donde la absorción del aire ambiente actúa atenuando más rápidamente a las altas, que a las bajas frecuencias. La grafía de filtros y reverberadores al final.

4H. Módulo de modificación de campos.

Modificación de los campos de un módulo

Los módulos vistos hasta ahora pueden variar los valores: de nota a nota (enunciados NOTA), de muestra a muestra (en los blocs), o de una manera global (variables de la pasada 3). El tipo de campo y su número han sido fijos hasta ahora, cuando se define al instrumento. Los módu-

los de modificación de campo nos permiten cambiar el número y aún el tipo de un campo específico en un módulo de cálculo. Por ejemplo, en el instrumento siguiente:

```
INS   0   1;
OSC   P5=dB   P6=Hz   B5   F3;
OUT   B5   B1;
END;
```

La función usada por el oscilador será siempre F3, pero si ponemos:

```
INS   0   1;
SET   P7;
OSC   PS=dB   P6=Hz   B5   F3;
OUT   B5   B1;
END;
```

El módulo SET nos indica que la función usada por el oscilador estará en P7. Es posible así, cambiar el campo "función" de todos los módulos tipo oscilador o envolvente mediante:

```
SET   I;
```

donde I es el parámetro del enunciado NOTA, o una variable de pasada 3. Este módulo debe colocarse inmediatamente antes del oscilador o envolvente que modifica y podremos modificar con él: variables de pasada 3 (Vn), los blocs (Bn), los parámetros del enunciado Nota (Pn) y los números de módulos (Tn).

El módulo `STV V n;`

Significa que el campo n del módulo siguiente se volverá V (v).

Este módulo tiene un campo más que el módulo SET, puesto que debe indicar el campo a modificar en el siguiente módulo, información que está implícita en SET.

Con efectos similares se podrán usar los módulos:

`STV b n;`	Que cambiará el campo "n" del siguiente módulo por B(b).
`STP p n;`	Lo cambiará a P(p).
`STT t n;`	Lo cambiará a T(t).

Y finalmente el módulo generalizado:

`STX i v n;` donde i es el tipo de campo a modificar,

actuará así:

`STX 1 P7 4;`	es equivalente a `STP P7 4;`
`STX 2 P7 4;`	es equivalente a `SET P7;`
`STX 3 P7 4;`	es equivalente a `STB P7 4;`
`STX 4 P7 4;`	es equivalente a `STV P7 4;`
`STX 6 P7 4;`	es equivalente a `STT P7 4;`

El tipo 5 no se usa.

La representación gráfica de este módulo se hallará al final.

5. Los generadores de funciones de formas de onda.

Los generadores de formas de onda

Ya vimos que los osciladores y envolventes usan las formas de onda llamadas "funciones". Cada forma de onda se calcula una sola vez y se almacena en memoria en una tabla donde será leída por los módulos osciladores o envolventes. El tamaño de la tabla puede ser seleccionado por el usuario, pero deberá ser una potencia de 2, por ejemplo: 32, 64,

128, 256,...2048, 4096, etcétera. El espacio reservado para estas tablas está a cargo del programa Music-V y no hay que preocuparse por ello. En una asignación normal, se podrá escoger un tamaño de 4096 para las funciones dedicadas, como el timbre de los instrumentos y un tamaño menor, por ejemplo 512, para funciones de fenómenos lentos, como las envolventes. Debemos recordar que grandes tamaños sobrecargarán tanto la memoria como el tiempo de ejecución de la máquina y se debe buscar siempre el mejor compromiso entre fidelidad y costo.

Los valores almacenados en las funciones serán siempre números reales, variando de +1 a −1, pues todas las ondas generadas normalizan su amplitud entre estos números.

Veremos unos pocos tipos de generadores considerados como representativos, pero se advierte que el manual contiene una gran cantidad. Las funciones GEN y FGN tienen el formato siguiente:

GEN t tipo número largo parámetro...;
FGN igual.

t — Es el tiempo, en general se pone cero para asegurarse que la función se calcula antes de la primera nota que se utilice.

tipo — Es el tipo de generador usado (que veremos adelante) y puede ser un entero entre 1 y 60.

número — Es el número de la función generada, es un entero entre 1 y 75 y corresponde al campo Fo de uno o varios enunciados-módulo que usan de esta función.

largo — Es el largo de la función que debe ser una potencia de 2.

Los otros campos dependen del tipo de generador empleado y se describen adelante.

Las ondas pueden formarse con segmentos rectos o curvos

Los generadores pueden formar sus ondas ya sea por medio de segmentos de rectas o por medio de curvas. Al primer método corresponden los "generadores de tipo 1", donde es suficiente proporcionar a la máquina las coordenadas (horizontal y vertical) de los vértices o aristas y el generador calculará las líneas rectas que los unen, por interpolación lineal entre tales puntos. El formato:

GEN t 1 número largo y1 x1 y2 x2 ...yn xn;

Las x son las abscisas (medida horizontal) entre 1 y el largo total de la función. Las y son los valores (verticales) de la función para cada x, y1 es el valor vertical para x1, y2 para x2, etcétera. Existe una condición forzosa y es que:

$1 \leqslant x1 < x2 < x3 \ldots < xn \leqslant$ largo de la función

(se lee: 1 igual o menor que x1, menor que x2, menor que x3 ...menor que xn, igual o menor que el largo de la función), y esto es obvio o se retrocedería en el eje horizontal que, a fin de cuentas, es el tiempo.

La onda cuadrada

Veamos un ejemplo, el enunciado:

GEN 0 1 5 512 1 1 1 256 −1 257 −1 512;

genera una onda cuadrada de longitud 512.

Recomendamos al lector seguir el enunciado en las figuras que se presentan.

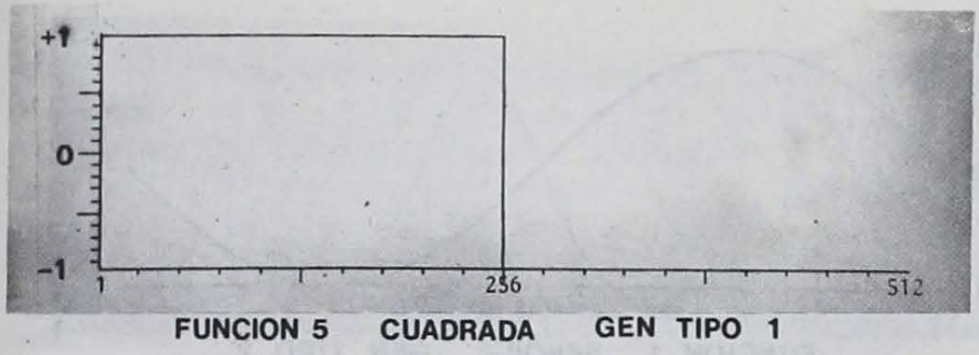


Figura V.22 La onda cuadrada.

La onda triangular

Un generador de tipo 3 calcula la onda también por segmentos de rectas, pero sólo se especifican los valores verticales (y) de los puntos. Los valores horizontales (abscisas) los espacia el Music-V, en forma igual, entre 1 y el largo de la función. Por ejemplo:

GEN 0 3 3 512 0 1 0 −1 0;

genera una onda triangular que parte de cero, va a su valor máximo (+1), luego al mínimo (−1) y regresa a cero en 512.

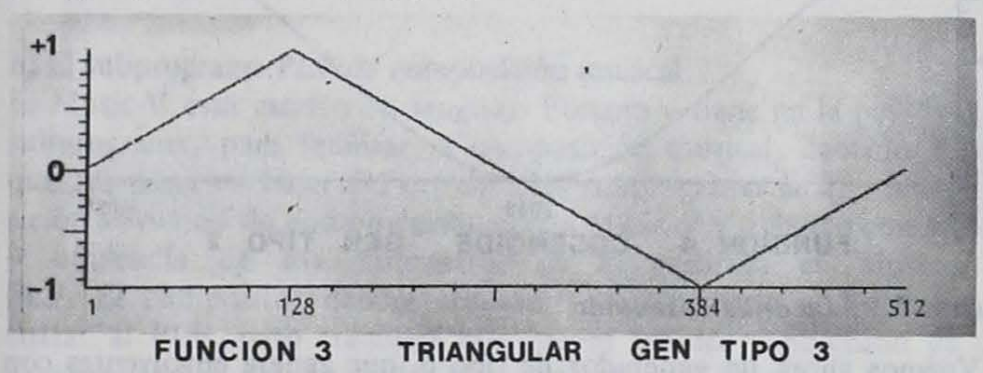


Figura V.23 La onda triangular.

Los generadores de tipo 2 son generadores de sumas de ondas senoides, para la generación de sonidos con control tímbrico por el método aditivo. Su formato:

GEN t 2 No largo S1 S2 S3 ...Sn C0 C1 C2 ...Cm n;

S1 a Sn Son las amplitudes relativas de ondas senoides de frecuencias 0, f. 2f, 3f, ...nf, siendo la frecuencia principal del oscilador o si se quiere la fundamental.

C0 a Cm Son amplitudes relativas a las cosenoides de frecuencias 0, f, 2f, 3f, ...mf, (ya vimos que las cosenoides son ondas iguales a las senoides pero con adelanto de un cuarto de ciclo o 90°), la n final especifica el número total de senoides del enunciado.

La onda senoide

Así: Gen 0 2 1 4096 1 1;

genera un ciclo de una senoide, sin componenetes cosenoides, comenzando en cero, al máximo positivo, luego al máximo negativo y de nuevo a cero, terminando en 4096 de largo.

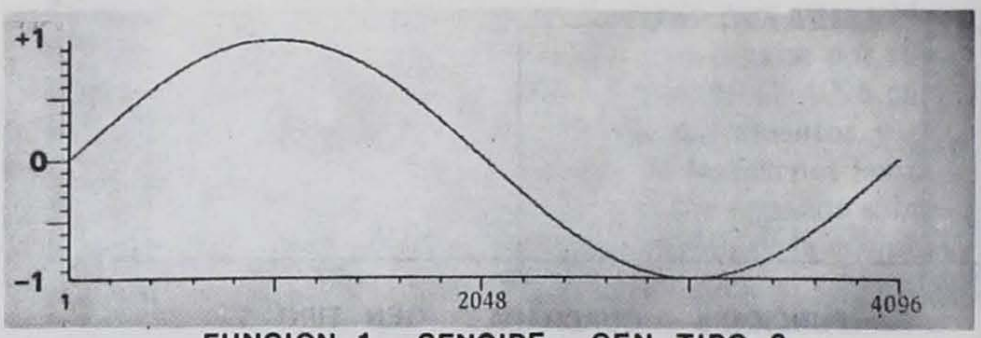


Figura V.24 La onda senoide.

La onda cosenoide

La función GEN 0 2 4 4096 0 1 0;
define el ciclo de uan cosenoide que comienza en +1, luego al máximo negativo y vuelve al máximo positivo, donde termina el ciclo. Nótese que la n, que define el número de senoides, es cero.

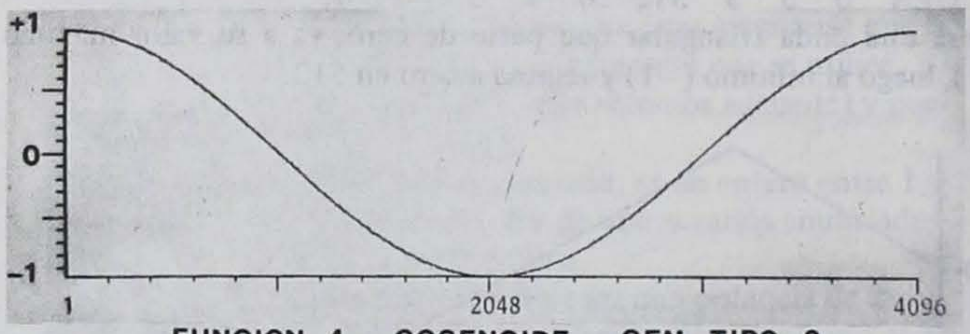


Figura V.25 La onda cosenoide.

Veamos ahora un generador de tipo 6, que genera envolventes con ataque y decaimiento exponenciales:

GEN t 6 No. largo y1 y2 y3 y4;

La función se divide en varias partes:

Primera parte: El ataque sube exponencialmente del valor 2^{-y1} hasta el valor y^2.

Segunda parte: Variación lineal (una recta) del valor de y2 a y3.

Tercera parte: Decaimiento exponencial de y3 a 2^{-y4}.

Los valores de y1 a y4 son opcionales, si se omiten, toman los valores siguientes: y1=y4=11, y y2=y3=1.

La onda exponencial

Finalmente veremos un generador de tipo 7, exponencial.

GEN t 7 No. largo y;

Los ascensos y descensos de la amplitud de la onda generada son exponenciales. Si y es mayor que cero, la función crece de 2^{-y} hasta 1. Si es menor que cero, la función decrece de 1 a 2^{y}. Si y =0 el generador da una curva en forma de campana exponencial, es decir:

GEN 0 7 1 512 0;

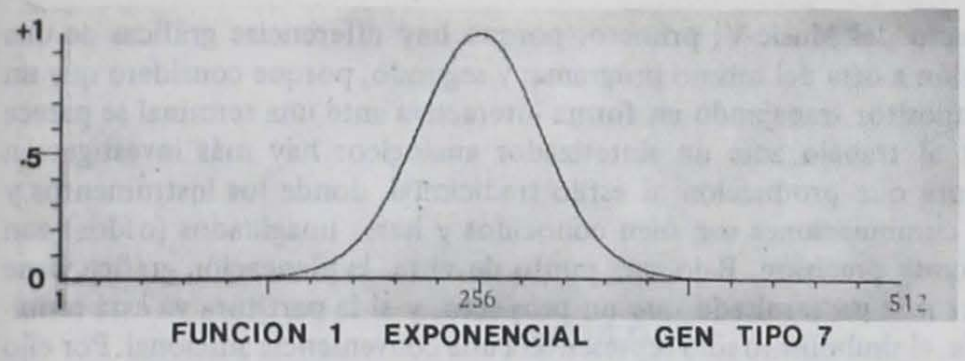


Figura V.26 La onda exponencial.

La variedad de estos módulos es numerosa y se pueden generar ondas de todo tipo (recuérdese que el tipo va de 1 a 60). Considero que el principio está ya comprendido, así como la forma de lograrlo y no abundaré más en el tema.

6. El subprograma PLF de composición musical.

El subprograma PLF simplifica la composición

El Music-V está escrito en lenguaje Fortran y tiene en la pasada 1 un subprograma, para facilitar la composición musical, llamado PLF y que funciona en base al Fortran. Este subprograma facilita la composición sirviendo de comunicación con el Music-V y pasando con rapidez y eficiencia de los parámetros de la partitura en Music-V al PLF. El compositor deberá conocer necesariamente el Fortran para entrar al PLF, pero trabajará con mayor rapidez y precisión ya que la especialidad del Music-V está centrada en la generación sonora digital y no tanto en las manipulaciones para el manejo de tales sonidos en una composición formal. Por otro lado, el programa PLF permite al compositor introducir sus propios algoritmos de composición, y al estar en modo conversacional con la terminal (teclado-pantalla), tendrá toda la potencialidad del Fortran a su servicio. No quiero dar la impresión, por lo demás, que la ignorancia del Fortran impide la composición con el Music-V; simplemente la dificulta.

El manual que hemos compendiado termina con un resumen de los enunciados, para referencia rápida del compositor. Se incluyen la sintaxis, su función y una indicación de las aclaraciones y restricciones pertinentes. Un índice general alfabético, por temas estudiados y palabras clave de cada enunciado, cierra el manual.

Por nuestra parte sólo nos resta incluir los grafismos asociados a algunos de los módulos.

7. Representación gráfica de algunos módulos.

La representación gráfica de los módulos permite hacer "diagramas de conexiones"

En ocasiones es cómodo realizar la representación gráfica de los módulos y hacer las interconexiones entre ellos. Cada módulo tiene un símbolo particular y la liga entre ellos se realiza a través de los blocs, que son las líneas que los unen. No se ha dado un énfasis especial en el texto a este

aspecto del Music-V; primero, porque hay diferencias gráficas de una versión a otra del mismo programa; y segundo, porque considero que un compositor trabajando en forma interactiva ante una terminal se parece más al trabajo ante un sintetizador analógico: hay más investigación sonora que producción al estilo tradicional, donde los instrumentos y sus combinaciones son bien conocidos y hasta imaginados (oídos) con bastante precisión. Bajo este punto de vista, la planeación gráfica viene a ser más un resultado que un proyecto, y si la partitura ya está terminada, el simbolismo sólo representará una conveniencia adicional. Por ello los incluimos sólo como una información para redondear el concepto general.

Un ejemplo práctico completo

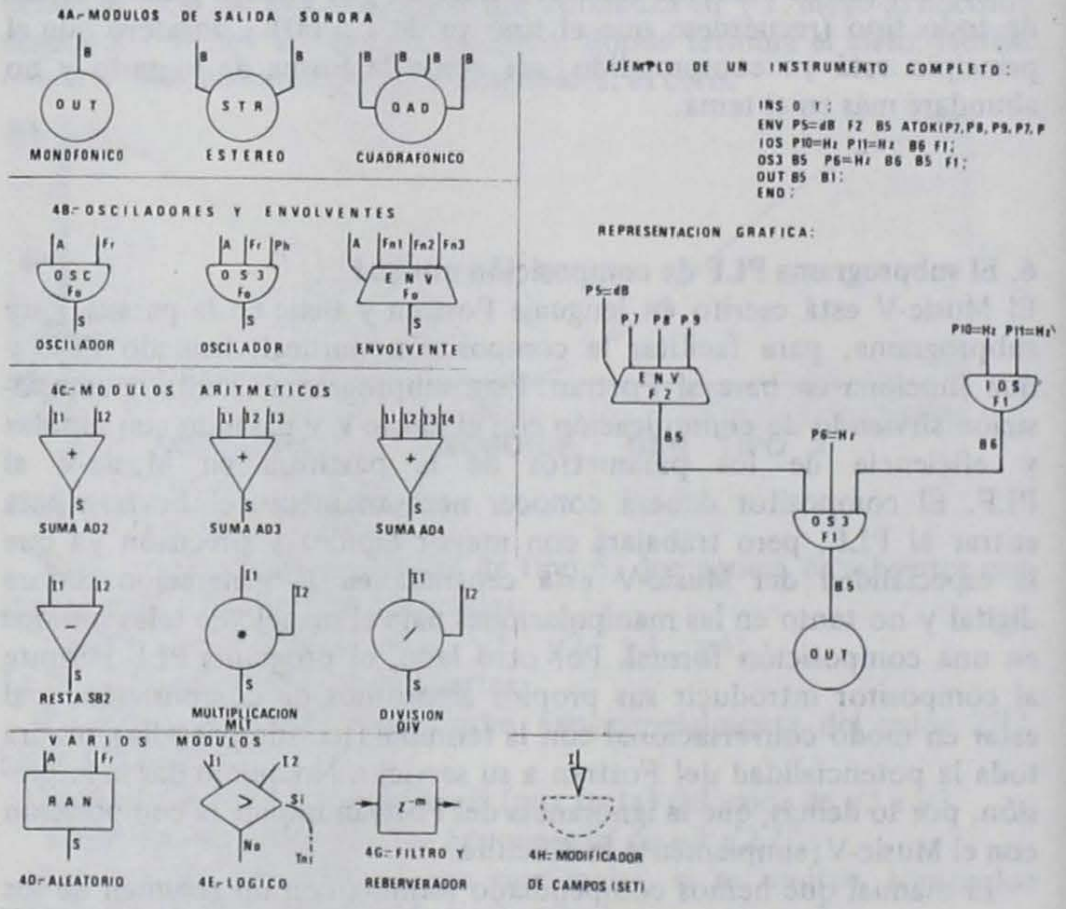


Figura V.27 Representación gráfica de los módulos más comúnes y un ejemplo práctico de las "conexiones" para construir un instrumento.

CAPITULO VI

APLICACIONES ARTISTICAS DE LA ELECTRONICA, USUALMENTE ASOCIADAS CON LA MUSICA O "ARTE ELECTRONICO INTEGRADO"

1. Introducción

El capítulo es sólo una sinópsis de las aplicaciones

Si los artículos anteriores fueron breves en su desarrollo, este será casi sinóptico, pues cubre tantas y tan variadas alternativas de utilización de la electronica, como para impedir una explicación detallada de los principios y equipos utilizados.

La única pretensión de este capítulo es la de despertar en el estudiante de arte una inquietud creativa, a través de muestras pequeñas y bien documentadas conceptualmente, entresacadas de la multitud de variantes que presenta la explotación de la electrónica con fines artísticos.

Siendo sólo una exposición sinóptica, se han omitido nombres, fechas y lugares, que naturalmente alargarían la exposición. Por lo demás, como nos encontramos ya en el presente, el lector se encontrará seguramente frente a alguna de estas creaciones tarde o temprano y lo más importante será el que sepa el "cómo", en alta prioridad sobre el "quién, cuándo y dónde".

Estará centrado en los conceptos y principios usados

Y es así como nuestro desarrollo –necesariamente superficial– lo estructuraremos iniciando cada tema con una explicación somera del principio o de la variante electrónica empleada. Enseguida se presentará un ejemplo de la realización artística obtenida, la que procuraremos presentar con una ilustración, siempre que sea posible. Algún breve comentario sobre las posibles variantes o sobre los temas relacionados con la aplicación respectiva cerrará cada uno de los temas estudiados.

Quedan fuera del texto multitud de aplicaciones

El capítulo no es exhaustivo y quedan fuera de texto una gran cantidad de manifestaciones artísticas basadas enteramente, o en parte, en la electrónica. La selección que he realizado intenta ser representativa de los desarrollos que han alcanzado mayor popularidad, y se ha presentado un solo ejemplo de cada tema específico cuando, por ejemplo, en el videoarte, hay cientos de artistas trabajando actualmente con resultados tan personales como disímiles. Pero insistiendo en lo dicho antes: lo importante es el "cómo", y comprendiendo éste, lo demás será sencillo.

2. La imagen del sonido: *Icofón*

Esta aplicación es muy poco conocida, y la única razón para ponerla en primer lugar es que el autor le ha dado nombre y ha llevado su desarrollo a muy variadas expresiones artísticas, por lo que recurre al privilegio de encabezar esta serie de muestras con su trabajo personal.

Son las imágenes del sonido según se observan en el osciloscopio

Esta aplicación utiliza las imágenes producidas por el sonido al ser observadas en una pantalla de osciloscopio. Este aparato se utiliza en el laboratorio electrónico para observar y estudiar las formas de onda y las estructuras varias de las corrientes eléctricas (desde audio hasta microondas), y como cualquier sonido puede convertirse en una corriente eléctrica, conservando su misma forma de onda, la observación directa de los sonidos es sencilla con este aparato, ya sea en forma individual o conjuntamente con otros... hasta una orquesta sinfónica de cien instrumentos, puede ser observada en su única onda resultante, en la pantalla del osciloscipio.

Si nosotros conectamos un oscilador de onda senoidal al osciloscopio, observaremos esta forma de onda en su pantalla. El dibujo, o trazo de la onda, ha sido posible mediante la combinación de dos componentes: una, la componente de tiempo, que es una raya (cuando no hay onda que observar) que recorre en forma horizontal la pantalla y cuyo tiempo de "barrido" es posible ajustar mediante controles, para la observación óptima de la onda, en función de su frecuencia. La otra componente es la intensidad de la onda. Si esta intensidad es nula o cero, sólo veremos la línea horizontal del barrido; conforme la intensidad va aumentando, la línea horizontal se desplaza en forma vertical siguiendo las sinuosidades de las ondas que se conecten.

El dibujo se realiza por el choque de electrones contra el fósforo de la pantalla

¿Cómo logra el osciloscopio dibujar las líneas en la pantalla? El trazo aparece por un chorro finísimo de electrones que llegan con altísima velocidad a la pantalla y producen luminescencia al chocar contra el fósforo con el que está recubierta interiormente dicha pantalla. La luz dura sólo un instante y se extingue enseguida, pero el chorro de electrones se va desplazando y va haciendo brillar los lugares en los que choca, dibujando así las ondas en los valores de amplitud y con respecto al tiempo en que recibe tales valores.

Ahora bien, si en lugar del barrido horizontal normal, que es una recta en ausencia de la señal vertical, aplicamos una onda senoidal, también el resultado es que tendremos la misma onda en la entrada horizontal y en la vertical, y dependiendo de la frecuencia, de la amplitud y de la fase de cada una de las dos ondas, podremos obtener dibujos muy variados y sugestivos.

En sus representaciones más sencillas, obtendremos un círculo, si las dos ondas son senoidales y si sus frecuencias y sus amplitudes son iguales; se obtendrá un 8 si una frecuencia es el doble de la otra, y se obtendrán figuras variadas si las relaciones son diferentes.

Esta forma de conexión y observación de las ondas se llama modo o conexión Lissajous (por el físico francés que estudió los movimientos vibratorios en el siglo XIX), y se emplea técnicamente para determinar frecuencias, amplitudes y fases de las ondas eléctricas, mediante la observación directa de las mismas en la pantalla del osciloscopio.

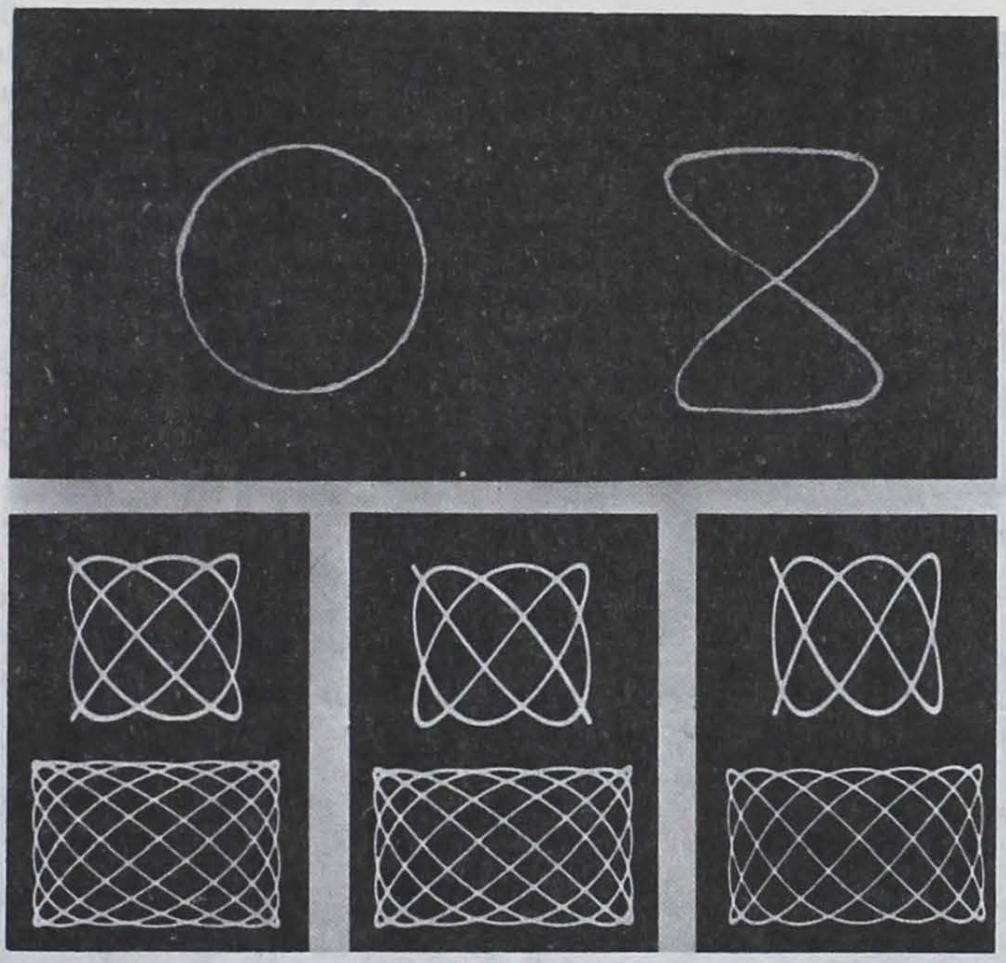


Figura VI.1 Algunas ondas observadas en el osciloscopio.

La mezcla compleja de sonidos da figuras abstractas muy sugestivas

Combinando diversas formas de onda, haciendo intervenir la modulación en frecuencia y amplitud, modificando frecuencias, amplitudes y fases, etc., todo ello sencillo de lograr en un sintetizador electrónico; ya tenemos a mano un poderosísimo medio de dibujar una variedad innumerable de figuras.

El color se obtiene con un disco cromático girando frente a la pantalla

Para agregar colorido a las imágenes obtenidas, el procedimiento utilizado por el autor –entre los muchos imaginables–, es el más sencillo y primitivo, que se usó en las primeras tentativas de televisión a color y que consiste en colocar un disco con segmentos o gajos de colores fundamentales (rojo, azul y amarillo o verde), o cualquier otra combinación que se desee para efectos especiales, frente a la pantalla, haciéndolo girar a la velocidad que dé el mejor colorido en función de la imagen que aparece (dependerá de la velocidad del barrido, de la del disco y de los colores utilizados). Este método de dar color por medio de un disco rotativo frente a la pantalla, se utilizó en los primeros televisores experimentales (y aún comerciales) de color, y su mayor inconveniente era el tamaño necesario para poder cubrir la pantalla completa. Como las pantallas de los osciloscopios casi nunca exceden los 12.5 cm. (5 pulgadas), el disco es pequeño y práctico de operar, es sencillo y económico y los resultados son altamente satisfactorios, pues se obtienen saturaciones de color y gradaciones o matices de una delicadeza difícil de obtener en la televisión.

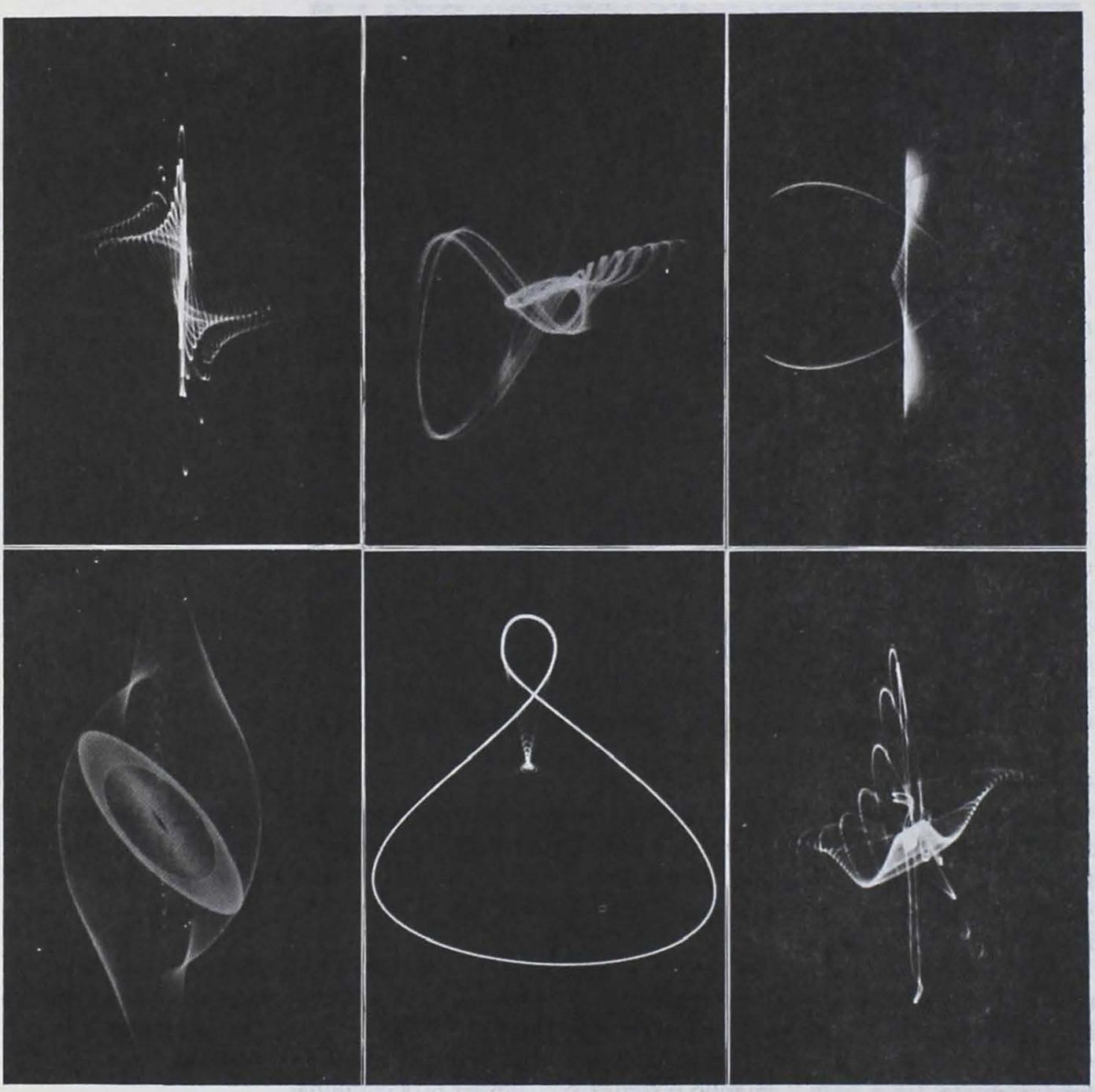


Figura VI.2 Algunas figuras de Icofón, en su versión sin color.

Las figuras muestran algunos ejemplos de las imágenes obtenidas fotografiando la pantalla del osciloscopio. Desgraciadamente pierden una gran porción de su belleza al ser reproducidas con pérdida de sus colores originales.

Se han producido cuadros, películas, etcétera

El autor no sólo ha trabajado en fotografía fija, también se han obtenido secuencias filmadas, transparencias de color, multiexposición, murales y cuadros, etcétera.

En un desarrollo artístico del autor, se filmó una secuencia de figuras abstractas en movimiento, bajo un programa preestablecido. Estas figuras se proyectaron en una pantalla central, a cuyos lados, en otras dos,

se proyectaron transparencias fijas que iban cambiando, siguiendo por similitud, las familias de figuras centrales filmadas. El espectáculo visual anterior se acompañó de sonidos electrónicos obtenidos en un sintetizador, los que llevaban mezclados los mismos sonidos que estaban produciendo las imágenes, en combinación para "llenar" la sonoridad. Al conjunto sonoro se le imprimió movimiento al hacerlo viajar por diferentes altavoces, en contenido y amplitud, para lograr movimientos sonoro espacial. La presentación de este multiespectáculo se realizó en México el 20 de abril de 1980... y se espera presentarlo distinto, corregido y mejorado en cuanto termine este libro... y hasta aquí el Icofón o la imagen del sonido.

3. Arte pictórico en televisión: *videoarte*

La videograbación abrió posibilidades pictórico-estéticas

Así como la grabación magnética de los sonidos hizo posible su control y manipulación con fines estéticos, por parte de los compositores de música, así también la grabación magnética de las imágenes de televisión, abrió a los artistas un medio accesible de arte visual electrónico. Con la aparición del color en la TV, las posibilidades se extendieron, y para los años setenta, comenzaron ya a aparecer los sintetizadores de video, aplicados principalmente a fines comerciales pero que no escaparon a la vista de los artistas en su capacidad de producción estética.

Aunque la televisión está presente en todos los hogares, son pocos los que saben como funciona. En un esbozo de sus posibilidades estéticas, no puede faltar una descripción, aunque sea breve, de sus principios.

Principios de funcionamiento de la televisión

La televisión está basada –al igual que el cine– sobre la persistencia de la luz en el ojo humano. Esta persistencia luminosa, que dura una pequeña fracción de segundo después que la luz ha cesado, permite que una sucesión rápida de imágenes luminosas sean integradas por el ojo y dé la impresión de una continuidad de acción. Sin esta benéfica propiedad visual, el ojo vería en la pantalla de televisión tan solo un minúsculo punto luminoso que viaja rápidamente en forma horizontal de un extremo a otro de la pantalla, recorriéndola en líneas contiguas de arriba a abajo y al terminar en el extremo inferior, brincando de nuevo hacia arriba para recomenzar nuevamente su "barrido". Simultáneamente a este viaje, se observaría que el punto luminoso va encendiéndose y apagándose, dando varias tonalidad de brillo a lo largo de su recorrido.

Es sólo un punto luminoso

Barrido del punto luminoso para formar las figuras

El barrido se realiza en 525 líneas de arriba a abajo de la pantalla y se presenta 30 veces o "cuadros" en un segundo; cada cuadro conteniendo una imagen fija completa de la escena que se desea transmitir (en Europa es diferente, normalmente 625 líneas en 25 cuadros por segundo). Las velocidades anteriores de la presentación de las imágenes fijas, combinadas con la lentitud de la persistencia ocular, permiten ver los movimientos en forma continua, en lugar de sólo un punto luminoso en veloz recorrido a través de la pantalla. (En la práctica se presenta dos veces cada cuadro, una con las líneas pares y otro con las impares del barrido, pero esto es sólo una cuestión técnica de solución al "parpadeo", que en otra forma sería muy notable.)

El punto luminoso, al igual que en el osciloscopio, es un finísimo chorro de electrones que chocan contra el fósforo de la pantalla y la hacen brillar. La diferencia con aquél es que el osciloscopio dibuja directamente la imagen y el televisor lo hace en forma indirecta mediante el barrido combinado con el encendido y apagado del punto luminoso.

En la televisión a color son tres puntos luminosos con los colores fundamentales

En la televisión a colores, en lugar de un solo haz de electrones, se presentan tres contiguos que chocan, cada uno, con un punto de fósforo de cada uno de los tres colores fundamentales. Si se observa con una lente de aumento la pantalla de un televisor a colores, se verán claramente estos grupos o tríadas cromáticas: rojo, azul y verde, encendiéndose y apagándose continuamente para formar las imágenes.

El lector recordará que la suma de los colores fundamentales en iguales proporciones dan el blanco y las mezclas intermedias todos los colores existentes y así, por el grado de encendido de cada color de la tríada se logrará el color deseado.

Con todos los elementos anteriores el artista tiene ya una posibilidad de dibujo y una paleta de colores.

La grabación de video es también en cinta magnética

La grabación de "video" es similar a la de audio y se realiza en el mismo tipo de cinta magnética (videotape o videocinta), aunque de diferente medida y viajando a mayor velocidad, por la enorme cantidad de información que debe contener. Como en audio, los procedimientos para obtener figuras "sintetizadas" son también similares: mezcla, filtraje, edición, variación de amplitud (brillo), etc., aunque en este caso, además de las imágenes, la señal grabada contiene también el sonido y las órdenes de sincronización (para el barrido, encendido y apagado de los puntos, retorno del haz electrónico y otros). El equipo es mucho más complejo y más costoso también, pero como en el caso de las computadoras su uso es mixto: comercial-artístico y además en muchos países privilegiados el acumular riquezas en forma estéril e ilimitada no es ciertamente el deporte favorito de políticos y capitalistas como en nuestro país y la investigación estética cuenta con muchos mecenas, incluyendo al estado como promotor artístico, de modo que existen multitud de facilidades para que el artista, en una u otra forma pueda, expresarse y convertir un producto esencialmente utilitarista en belleza estética... o al menos puede y tiene medios para intentarlo.

Los procesos de síntesis son como los sonoros

Figuras obtenidas en pantallas de TV

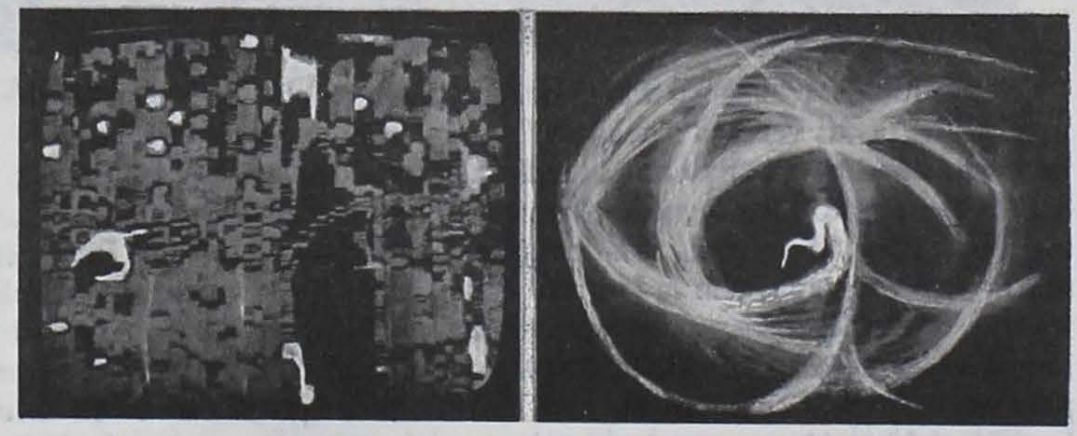


Figura VI.3 Tres ejemplos de Videoarte.

Incluimos dos figuras obtenidas en una pantalla de televisión a color y que nos muestran las imágenes abstractas obtenidas por síntesis de video. Desde luego que las imágenes son en colores y van cambiando lentamente tanto su colorido como su dibujo, simultáneamente con los sonidos, también electrónicos, que las complementan estéticamente.

La TV mural impulsará este arte

Ya existen en el mercado televisores de color que se proyectan en grandes pantallas. Esto evidentemente dará un impulso considerable a esta expresión del arte electrónico, que pudiéramos bautizar con el nombre genérico de Artevideo o Videoarte... y no está remoto el día en que se pueda comprar un videocaset con música e imagen producidas por un artista en un sintetizador videomusical, para ser proyectado en casa y que represente una verdadera adquisición artística.

Las obras de arte serán masivas

También se procede por imágenes concretas

Otros artistas que no disponen de un sintetizador, recurren a la mezcla de imágenes "concretas" como diría Schaeffer y así, con figuras geométricas o abstractas mezclan flores, hojas, paisajes, obras de arte... El maestro Parmegiani me hizo una demostración, en París, de sus avances en este aspecto: en varias secuencias presentadas en un televisor y grabadas en videocaset, aparecieron estudios híbridos de objetos de la naturaleza "desnaturalizados", valga la cacofonía, y presentados con elegancia artística en la pantalla, una llama oscilante, un chorro de agua que por la forma de la toma era desconocido... mezclados con curvas de texturas varias. Parmegiani no usa un sintetizador de video sino que filma directamente las imágenes abstractas y de la naturaleza y las mezclas las realiza por exposición múltiple.

4. El LASER

Significado de láser

La acuñación de la palabra se hizo tomando las siglas de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* o en cristiano: Luz amplificada por estímulos en la emisión de la radiación y no es sino un haz de luz, pero tan intenso y concentrado en su energía que puede vaporizar cualquier subtancia existente en la naturaleza.

Fué predicho por Einstein desde 1917

El primer láser se construyó en 1960 (aunque Einstein lo predijo en 1917), y desde entonces sus aplicaciones van desde soldar la retina ocular hasta perforar diamantes (la sustancia más dura conocida en el universo) y por supuesto, para que no se olvide su origen humano, este "rayo de la muerte" también se utiliza para fabricar armas, seguramente "inspirados" por los múltiples accidentes que ocurrieron con los primeros láseres, cuando se ignoraba su poder.

Es un rayo de luz coherente y de gran potencia

El principio del láser, explicado con sencillez, es así: los átomos y moléculas de los materiales existen en niveles de baja y alta energía. Un átomo se puede llevar a un nivel de alta energía usualmente por medio del calor. Cuando los átomos retornan de su nivel alto al bajo, devuelven su energía dando luz. Cada átomo o molécula da esta luz independientemente y en colores diferentes en función del medio ambiente y de su propia energía. Ahora bien, si al excitar al átomo, simultáneamente se le hace llegar una luz, el átomo es "estimulado" a emitir su radiación (luz) en el mismo color de la luz que recibió, en esta forma la energía de todos los átomos se suma y da como resultado una amplificación de la luz, precisamente en la longitud de onda o color

que fue estimulada. La luz resultante es el láser: un haz luminoso de un solo color o coherente y de una enorme potencia.

El láser se aplica en dos formas

Las aplicaciones artísticas del láser son múltiples, pero fundamentalmente se pueden reducir a dos:

1.– Utilización directa del rayo.

2.– Utilización del rayo difuso, como fuente luminosa.

Los láseres usados en la investigación artística son de bajísima potencia (algunas milésimas de watt) y aún así, se deben tomar múltiples precauciones para proteger tanto al artista como al auditorio, de accidentes causados por exposición directa al rayo.

1. Directamente, para dibujar ondas

Aplicación 1. El rayo láser es tan concentrado en su potencia, que se percibe en el aire como un hilo brillante de luz de color. Su dispersión es insignificante y se han hecho experimentos enviándolo a la luna y captando su reflejo. Aún después de viajar casi 400,000 kms. de ida y vuelta, es fácilmente detectable y se ha medido con gran precisión la distancia tierra-luna con base en el tiempo que tarda en ir y regresar.

Una vez comprendido el fenómeno, veamos rápidamente algunas aplicaciones artísticas:

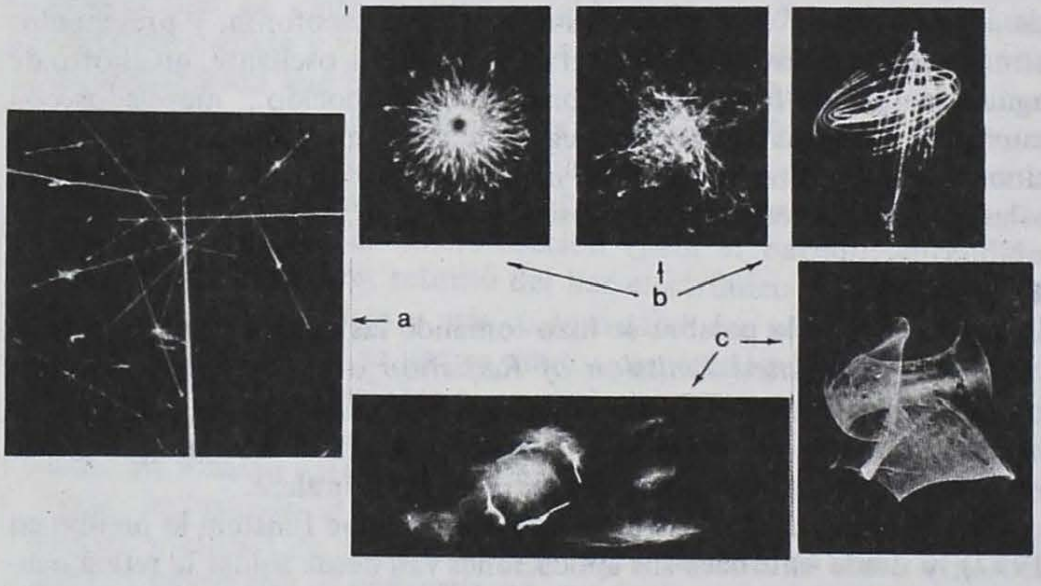


Figura VI.4 El láser en tres aplicaciones artísticas.

Mediante espejos oscilantes

a) El rayo se hace incidir en espejos que se mueven en forma oscilatoria, su reflejo se manda a varios receptores, ya sean pantallas, las paredes, el techo, o el piso de un recinto, también se utiliza enviándolo a un recipiente lleno de humo, con sus paredes transparentes, etcétera.

b) La figura que presentamos como ejemplo nos muestra un rayo láser incidiendo en un prisma con humo, después de haber sido reflejado por un espejo oscilatorio.

La figura que le sigue representa el reflejo de un láser al llegar a una pantalla después de haber sido oscilado conforme al mismo sistema expuesto antes.

El productor de las oscilaciones puede ser un altoparlante al que ha sido adherido un pequeño espejo que se moverá conforme a las vibraciones sonoras del altoparlante. A esta aplicación, el artista (Wagler) le ha llamado "Sonovisión".

c) La siguiente figura (de la serie de tres anterior) nos muestra el reflejo del rayo después de pasar por superficies reflejantes vibratorias (como en el ejemplo anterior) pero de superficie irregular, con el expreso objeto de dispersar, en forma imprevista, el haz luminoso. A esta aplicación se le ha llamado "Laserium" y normalmente se presenta con un espectáculo de música electrónica en vivo o grabada previamente.

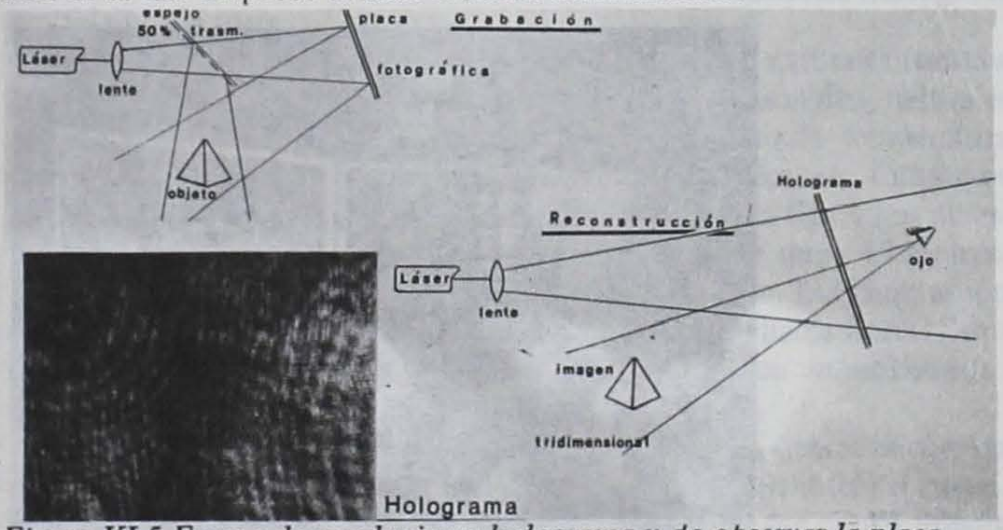
Y también dispersando el haz luminoso

Aplicación 2. El doctor húngaro llamado Gabor, inventó en 1948 la técnica llamada "holografía", de holos: total y grafos: mensaje o escritura. En pocas palabras, esta técnica consiste en fotografiar la luz reflejada por un objeto no sólo en su intensidad (que es el caso acostumbrado) sino también en su fase. La fotografía resultante al ser incluida la fase, será tridimensional. La luz normal es incoherente o sea que está formada por multitud de ondas de longitud diferente, aunque se perciba de un solo color o en otras palabras, que lo que se percibe es el promedio de los varios colores contenidos en la onda, aunque sus diferencias sean pequeñas entre ellas, lo cual representa una variación en la fase de los colores componentes arriba y abajo del color central (como la frecuencia central en un filtro paso de banda).

2. Iluminando objetos que se fotografían (holografía).

Como Gabor no disponía del láser (no inventado aún) iluminaba sus objetos con una luz monócroma que hacía pasar por un hoyo de dimensiones microscópicas, pero el efecto adicional era que la luz se reducía tanto como para no dar los resultados esperados. Esta técnica, durante mucho tiempo no pasó de tener un interés tan sólo teórico, pero al inventarse el láser todo cambió y las primeras fotos tridimensionales se produjeron con esta técnica en los años sesenta.

Para fotografiar un objeto con láser, se hace llegar a la placa fotográfica simultáneamente la luz directa del láser y la reflejada por el objeto que se va a fotografiar, en esta forma se fotografía el objeto con inclusión de la fase respecto al láser recibido directamente.



Forma de fotografiar con el láser y la placa resultante: holograma

Figura VI.5 Forma de producir un holograma y de observar la placa conteniendo la imagen tridimensional.

La placa fotográfica resultante se llama holograma y no muestra ninguna imagen sino sólo manchas alternadas claras y oscuras: donde la fase de la luz directa y reflejada coincide, la mancha es clara (interferencia aditiva). Donde las fases se oponen, se anula la luz y aparece negro (interferencia destructiva), con todas las gradaciones de gris in-

termedias. Para observar la imagen (y aún fotografiarla), se invierte el procedimiento, como lo muestra la segunda parte de la figura. La imagen es enteramente tridimensional y si camina uno frente a ella, se observa claramente el cambio de perspectiva, como si fuera real. Además, como la placa contiene toda la información de la figura en toda su superficie, la imagen será reconstruida completamente aún con una fracción de la placa, la que se dice es "redundante", respecto a su información contenida.

La obtención de hologramas es una técnica muy sofisticada y cara

El proceso es caro y muy complejo, por ejemplo: un movimiento del objeto aún de una fracción de la longitud de onda de la luz de láser (del orden de un diezmilésimo de milímetro) ya impide la obtención del holograma por alteración de las fases y se debe recurrir entonces a un láser "pulsante" (*flash-laser*), cuya técnica es aún más cara y compleja.

Respecto a la holografía en color, de momento no es enteramente satisfactoria –aunque ya se logra– porque las emulsiones de la película se encogen cambiando los colores y las imágenes en razón de los críticos límites en donde se desarrolla la imagen tridimensional como vimos antes.

Otros experimentos tridimensionales

Refiriéndonos a la expresión artística, podemos decir en forma simplista que la holografía es similar a la pintura y la fotografía pero de estructura tridimensional y que siendo imágenes virtuales solamente, no puede compararse a la escultura o arquitectura. A la fecha se trabaja intensamente para lograr un cine holográfico tridimensional pero los problemas técnicos son enormes y la solución práctica y económica aún no aparece. También se hacen experimentos para producir imágenes abstractas tridimensionales e imágenes en múltiple exposición donde se ven las partes frontales y posteriores de los cuerpos, en imágenes que hacen sentir "estados de alucinación", al decir del artista que las obtiene, aunque por el momento también se debe considerar en fase de investigación estética.

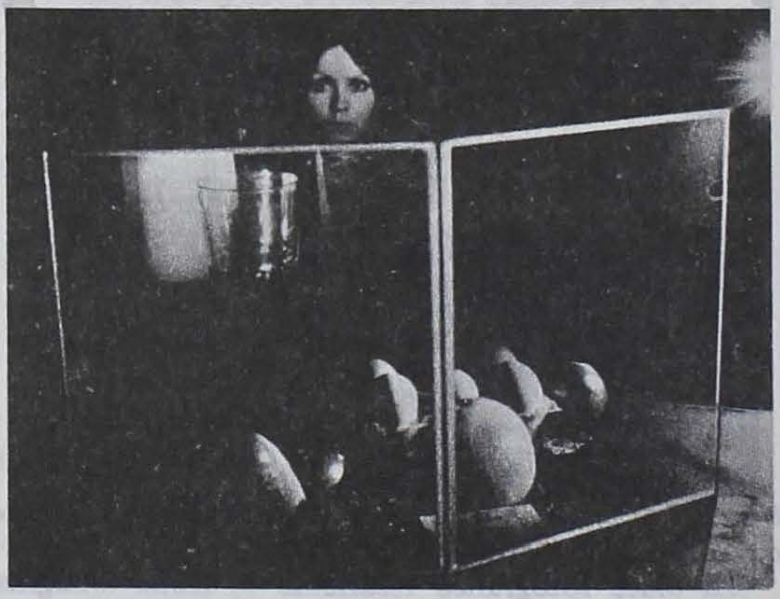


Figura VI.6
Un ejemplo de holograma.

La figura nos muestra la foto de un holograma. La reacción al verla (el holograma real) es de completo asombro, pues la impresión tridimensional es perfecta y parece que se asoma uno a una ventana mágica, donde del otro lado existen los objetos en forma real. La artista (Mar-

garet Benyon) que aparece encima del holograma, parece existir sin su cuerpo debido a la perspectiva del holograma. La foto esencialmente bidimensional, no puede mostrar el efecto real del holograma mostrado.

5. Esculturas y torres cibernéticas

La versión moderna de los androides y esculturas mecánicas sonoras

Las esculturas mecánicas que producían sonidos y música, fueron fabricadas con profusión –como vimos en el esbozo histórico– antes de la llegada de la electricidad. Los recursos enormes de esta última, sus posibilidades de movimientos programados y precisos y la producción musical mediante mecanismos pequeños y grandes intensidades sonoras, dieron un nuevo ímpetu y las expresiones estéticas se multiplicaron. De todas ellas veremos aquí sólo las relacionadas con la electrónica y la música.

La cibernética es la ciencia del control

La cibernética, según la bautizó el Dr. Wiener en el año de 1948 se refiere a la ciencia del control y de la comunicación y más específicamente a la interrelación hombre-máquina. Este nombre lo han tomado los artistas para construir máquinas (que ya no son androides) y torres (que ya no son carillones) que poseen movimientos propios y producen música en forma continua o programada en su tiempo y contenido. Estas entidades artísticas unos las llaman cibernéticas y otros –más modestos– simplemente cinéticas, es decir, con movimiento.

Las torres o esculturas tienen sonido, movimiento y luz

Algunas de estas creaciones usan fuentes naturales de energía, complementaria a la electricidad, para impartir movimiento a sus partes (viento, lluvia, calor, etc.). En otras versiones se presentan totalmente movidas por electricidad o en forma mixta: natural-mecánica-electrónica-lumínica. Los sonidos producidos pueden ser de origen natural (placas metálicas chocando, cuerdas sonando, hélices sonoras, etc., por acción del viento, por ejemplo) y también eléctricos y electrónicos: cintas magnéticas con música previamente compuesta, amplificada y emitida por la torre.

Hay otras que procesan y modifican los sonidos naturales (música concreta) y también que alteran dinámicamente los sonidos, naturales o pregrabados, en función de variables tales como la temperatura ambiente, la humedad ambiente, la presión atmosférica, etc. Citaremos sólo un par de ejemplos de esta aplicación. La primera figura nos muestra una escultura cinética con altura aproximada de unos 15 metros, que posee movimientos programados electrónicamente. Las láminas son de acero inoxidable pulido y el autor (Jan Zach) las llama flores. Estas son iluminadas por luces de colores cambiantes y tienen un movimiento lento que se complementa con música electrónica.

La segunda figura nos muestra la torre cibernética que se encuentra ubicada en la ciudad de Lieja, Bélgica, con el autor (Schöfer) al frente, esta torre tiene poco más de 50 metros de altura y fue construida en 1961. El artista, de nacionalidad húngara, se ha especializado en este tipo de construcciones y varias ciudades europeas poseen creaciones suyas. La torre tiene movimiento, iluminación y sonido creados y programados por el autor.

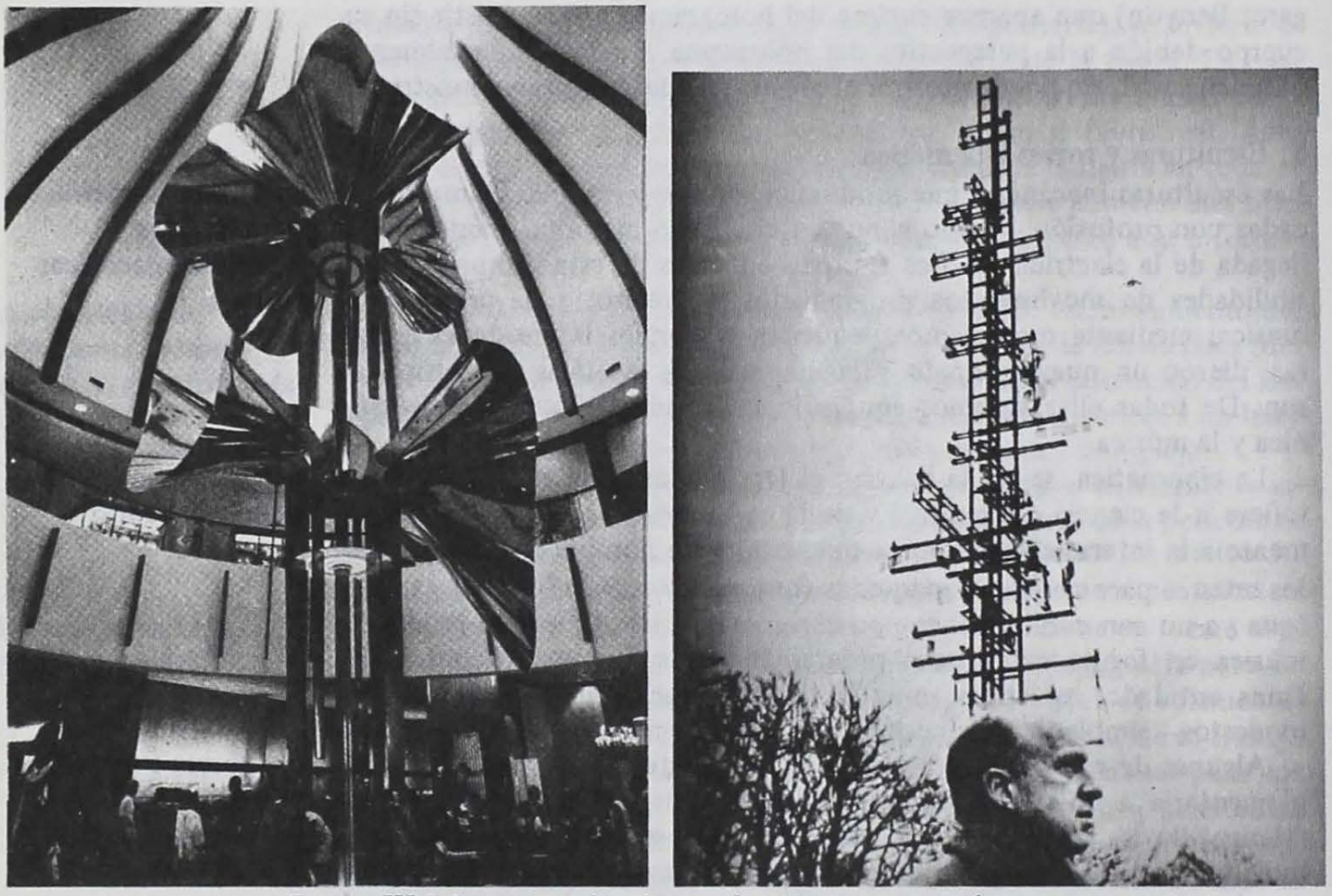


Figura VI.7 Dos ejemplos de esculturas o torres cinéticas.

En México existe una torre cibernética

Debemos anotar que en el año de 1971, en la ciudad de Jalapa, Veracruz, se construyó una torre cibernética, obra del arquitecto Morandín y con música electrónica compuesta por el maestro Quintanar, para sonorizarla mediante cinta magnética. Esta torre, a lo que he podido investigar, sigue en operación a la fecha.

6. Teatro estroboscópico y efectista. Los espectáculos multimedios

El estroboscopio emite una luz centellante y regulable

Los estroboscopios son fuentes luminosas que emiten luz a intervalos regulares (varios por segundo), alternando entre iluminación total y oscuridad total. Los profesionales son de gas xenón, y debido a que el encendido y la extinción deben ser instantáneos, no es posible lograr este efecto con la luz incandescente, pues los filamentos de las lámparas poseen "inercia calorífica", lo que significa que el encendido y el apagado toman tiempo y no son instantáneos como lo son las descargas de gas incandescente, aunque también se pueden hacer mecánicamente colocando reflectores frente a discos que alternan partes claras y negras o simplemente con hoyos, y que giran a velocidades variables. Este tipo de estroboscopios son económicos, pero definitivamente poco satisfactorios.

La luz estroboscópica "congela" al movimiento

Las aplicaciones técnicas de los estroboscopios son principalmente para lograr el "congelamiento" de los movimientos y así poder obser-

var las deformaciones o el comportamiento bajo plena velocidad, como si el objeto estuviese inmóvil. Por ejemplo, si un estroboscopio se hace centellear frente a un ventilador y su velocidad se sincroniza con la de este, las aletas se verán detenidas, completamente inmóviles y se podrá observar su comportamiento dinámico. Se han fotografiado, así, las balas en pleno vuelo o en el mismo momento de su impacto, dejando la cámara con la lente abierta (en la oscuridad) y !ando una iluminación repetida, sincronizada y calculada al momento que se desea observar... por el lado negativo, se ha encontrado que el centelleo a ciertas frecuencias, dispara los ataques en las personas que padecen epilepsia y por ello se ha regulado y restringido su uso en lugares públicos como las discotecas.

En el teatro se ven imágenes múltiples

En su aplicación teatral nunca se dirige al público, sino al escenario y su frecuencia utilizada es de entre 1 y 15 centelleos por segundo, no más, porque entonces ya hay sensación de continuidad como en el cine o la televisión. En términos generales, la recomendación es que no exceda los 8 centelleos por segundo. Al iluminarse las figuras o los actores, si es el caso, el ojo retiene la imagen por una fracción de segundo, y al desaparecer de la retina nuevamente recibe la imagen iluminada, pero en un lugar y posición diferente, dando la impresión de figuras múltiples e idénticas en posiciones diferentes y sucesivas.

La figura nos muestra una escena iluminada con estroboscopio. Intencionalmente se ha dejado abierta la lenta de la cámara para simular la percepción del ojo humano ante las imágenes sucesivamente iluminadas por el estroboscopio. El efecto es hipnótico y altamente sugestivo si se emplea con parquedad y buen gusto.

Figura VI.8 Una bailarina iluminada con estroboscopio.

El Ciberteatro usa robots no androides

Otro efecto utilizado en el teatro es la actuación de robots en lugar de seres humanos, no necesariamente androides. El llamado Ciberteatro, utiliza como actores a pequeños robots, de alrededor de un metro y que son capaces de:

Moverse con 5 o 6 grados de libertad.

Brillar con luz propia, fija o cintilante.

Producir sonidos electrónicos semifonéticos o música electrónica y concreta.

Emitir humos o gases de colores y algunos olores.

En la figura se muestra una foto del escenario del Ciberteatro, desarrollado por artistas rusos en Leningrado.

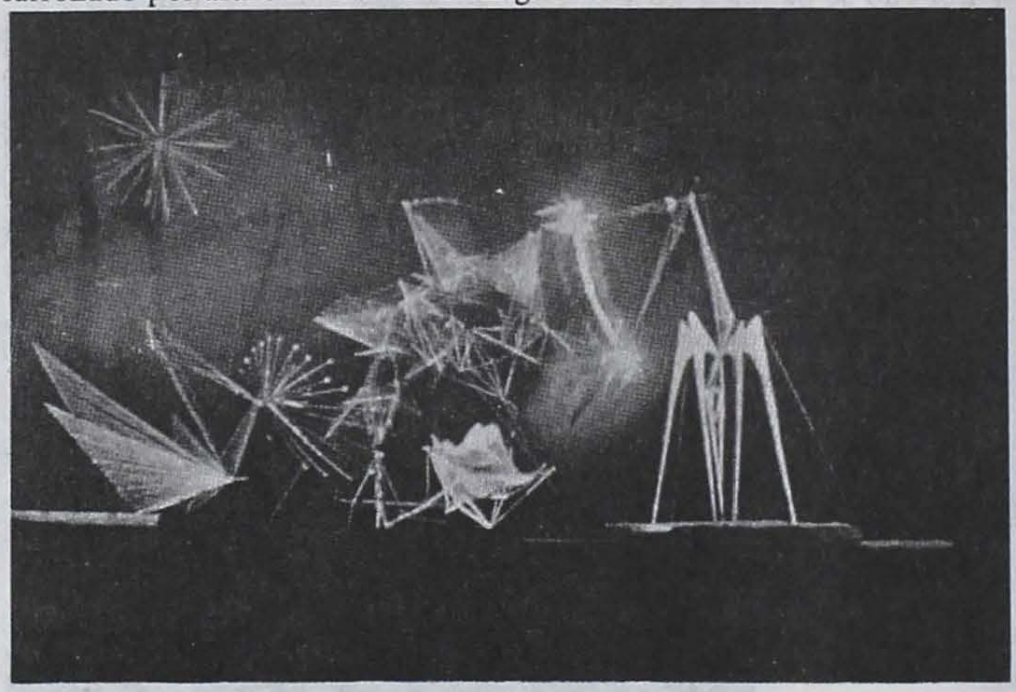


Figura VI.9 El Ciberteatro.

Los multimedios usan varias manifestaciones estéticas simultáneamente

El espectáculo llamado "Multimedia" (en español multimedios, pluralizado en forma castiza y no latina), incorpora y hace válido cualquier elemento que pueda contribuir a una percepción artística múltiple: visual y auditiva y en casos extremos, olfativa, táctil y aún de equilibrio. De hecho podríamos considerar que las expresiones artísticas vistas con anterioridad son casos particulares de los multimedios. Debido a esto, presentaré sólo un ejemplo donde la variedad y cantidad de excitantes sensoriales significan la definición más representativa de nuestra específica clasificación.

Los ejemplos más notables de espectáculos multimedios han sido sin lugar a dudas, las presentaciones en las ferias mundiales.

El prototipo fue el pabellón Philips de la feria mundial de Bruselas, 1958

El predecesor inicial y modelo en su género, fue el pabellón presentado por la compañía Philips en Bruselas, en 1958, donde artistas de fama mundial cooperaron al espectáculo: el Poema Electrónico de Varese, circulaba en 425 altavoces y simultáneamente se proyectaban imágenes, luces, colores, ritmos variados. ...Y aún la arquitectura contribuyó, pues el pabellón fue concebido y estudiado especialmente por el genial Le Corbusier.

"Pantallas panorámicas donde las imágenes aparecen y se desvanecen en constante movimiento, efectos luminosos que pasan de lo visible a lo invisible, proyecciones cinematográficas de bóvedas y horizontes curvos envueltos en llamas o convertidos en hielo", ...según palabras de un espectador. Ocho minutos duraba el espectáculo, realizado por un enorme equipo de artistas y técnicos.

Figura VI.10 Dos vistas del pabellón de la Philips en Bruselas, 1958.

En Japón se presentó otro en 1970

Un digno sucesor del anterior, fue el pabellón de la Pepsico, en Osaka, Japón, 1970. Sus efectos estaban controlados por computadora y se construyó todo un equipo especial que incluia láser, estroboscopios, luz de tungsteno y yodo en el aspecto luminoso. 37 altavoces móviles sobre una bóveda semiesférica se movía en trayectorias programadas variando su velocidad lenta o rápidamente. Había artistas ejecutando en vivo instrumentos tradicionales y electrónicos.

Estos espectáculos son de un costo prohibitivo, aún para artistas organizados en equipo. De tarde en tarde se asiste a algunos más modestos, pero siempre atrás de ellos hay un mecenas generoso y las más de las veces un gobierno inteligente que subvenciona la investigación estética de vanguardia para contribuir, no únicamente a la búsqueda de nuevos caminos y expresiones artísticas, sino –y esto es lo más importante– para formar embajadores de buena voluntad (el arte siempre lo fue) que den lustre y prestigio al país en el extranjero y logren amistad, simpatía y popularidad entre los hombres de buena voluntad (ya me volví demagogo).

7. Imágenes por computadora

La computadora obtiene imágenes en color y tres dimensiones

No podía faltar en esta breve ennumeración la presencia –omnipresencia– de la computadora en la creación de imágenes artísticas programadas.

Generalmente estas imágenes las presenta la computadora en su pantalla de control, tal como la vimos en el capítulo anterior, y de allí son fotografiadas o filmadas para su presentación al público.

De la multitud de formas de utilización, he seleccionado una de ellas, que considero la más representativa y avanzada de esta forma de arte, pues incluye no sólo colorido sino también tridimensionalidad, esta última, por supuesto, imposible de filmar o fotografiar, al menos por el momento.

Cómo se obtienen las imágenes

¿Cómo se procede para que una computadora se convierta en pintor abstracto? Vamos a dar un ejemplo y daremos por hecho que el lector asimiló la descripción de la computadora del capítulo anterior.

- Se programa a la computadora para realizar funciones tales como: amplifica (multiplica ciertos valores recibidos por una constante que se proporciona), reduce (divide los valores); gira o imprime rotación (suma cierto ángulo a las posiciones de una línea en la pantalla, en función de un centro de giro especificado); duplica (toma dos veces los mismos valores, etcétera).
- Una vez programada la computadora, se procede a dibujar una cierta figura en la pantalla con ayuda del lápiz luminoso: supongamos un triángulo.
- Se ordena a la computadora que almacene los valores del dibujo: localización, medidas y orientación de las líneas.
- Se le pide a la computadora que realice una rotación de los valores almacenados, por ejemplo de 10 en 10 grados hasta 360 y reinicio, y simultáneamente que amplifique los parámetros en función de los factores 2, 4, 8, y reduzca también (secuencialmente a razón de 5 veces por segundo) con los mismos factores.
- Se ordena la presentación del proceso en forma dinámica a través de la pantalla, y ya tenemos una figura sugestiva de 7 triángulos que crecen y disminuyen, girando circularmente a razón de cinco presentaciones por segundo.

Cómo se da el color

- Ahora colocamos frente a la pantalla un disco con gajos transparentes de colores y lo hacemos girar (suponiendo blanco al fósforo de la pantalla) sincronizando la velocidad de giro con la de la presentación de las figuras en la pantalla. La presentación es ahora en colores y ya podemos filmarla o fotografiarla.

Como se hace tridimensional

- Finalmente programamos a la computadora para que presente dos imágenes ligeramente movidas con un cierto ángulo, en función de la separación de los ojos y la distancia del observador (el ángulo se hará ajustable para óptima sincronía y ajuste).
- Ahora tomaremos un pequeño disco de unos 20 cms. de diámetro, con gajos negros y transparentes alternados, en adición al de colores. Lo colocamos frente a los ojos, y haciéndolo girar, lo sincronizamos con las imágenes presentadas, de tal modo que cuando pase la imagen correspondiente al ojo derecho, el gajo negro esté frente al ojo izquierdo e impida su visión y viceversa, haciendo la misma función de abrir y cerrar cada ojo alternadamente en sucesión rápida y sincronizada con la presentación de las figuras en la pantalla, de modo que cada ojo vea sólo la imagen que le corresponda. Se ajusta velocidad de presentación y ángulo de desplazamiento para lograr la imagen tridimensional deseada con la profundidad de perspectiva más bella.

La figura nos muestra una imagen obtenida por el procedimiento anterior. Como en todas las reproducciones de obras de arte (en la consideración que ésta lo es), la copia sólo da una ligera idea de la belleza del original, máxime si se considera que es tridimensional, en colores y además, con movimiento.

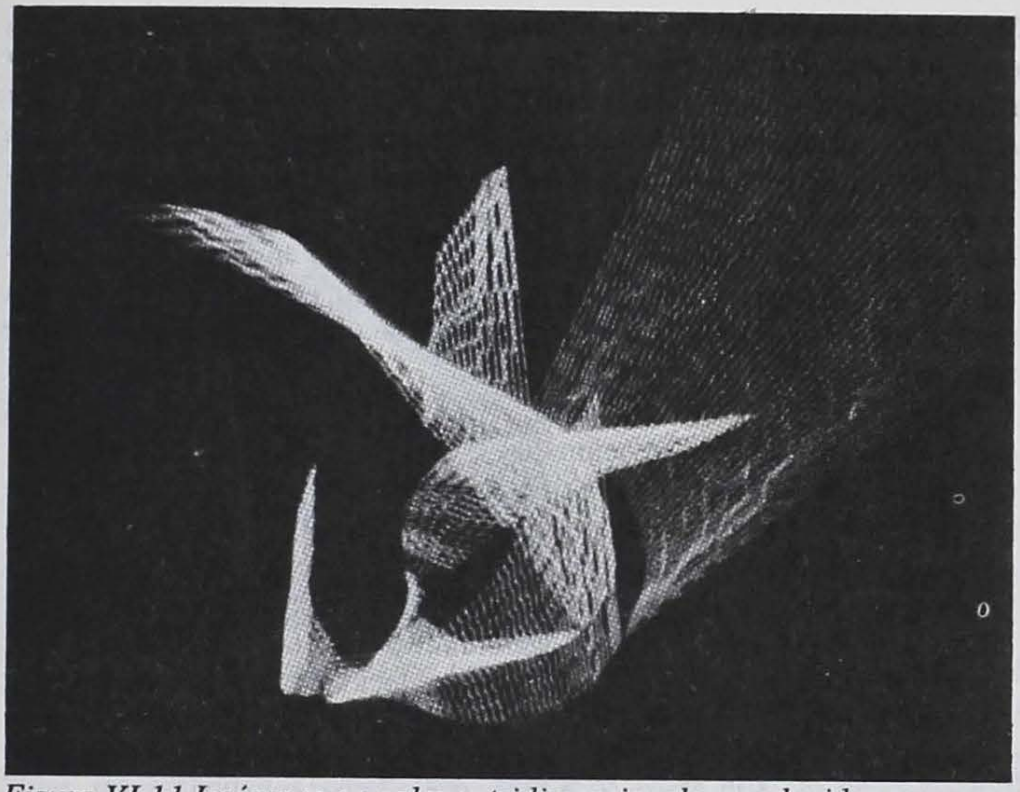


Figura VI.11 Imágenes en color y tridimensionales producidas por computadora (foto bidimensional y blanco y negro).

Ya habrá observado el lector que no se usó el triángulo del ejemplo que sirvió de explicación sino una sola línea sinuosa, girando lentamente en trayectoria de dos círculos de diámetro distinto, y con instrucciones adicionales para curvar suavemente a la línea generatriz.

8. Música por ondas cerebrales por ondas cerebrales.

El uso de las ondas o ritmo alfa para producir música

Todo equipo electrónico diseñado para producir señales, al detectar alguna manifestación de cierto fenómeno natural, se puede utilizar para activar o controlar luces, colores o los sonidos de un sintetizador controlado por voltaje... sólo la imaginación pone un límite. El único requisito es que las señales producidas sean amplificadas al nivel requerido, cosa por lo demás de muy sencillo logro.

En algunos experimentos hechos en los Estados Unidos, se han usado las ondas cerebrales y las cardiacas... Puede usarse la temperatura ambiente o la de diferentes partes del cuerpo, la presión atmosférica, la capacitancia del cuerpo (al acercar o alejar la mano, como en el theremin) ...pero lo más importante es que no hay que dejarse impresionar por los resultados, normalmente sofisticados en forma artificial puesto que las ondas que los originan tienen naturalmente, una gran sencillez y una variabilidad mínima y bien monótona, por lo que los resultados –sin manipulación artificial– lo serían también. Como en la realidad tales resultados se programan en forma altamente sofisticada, nos acercamos más a la obra semialeatoria prefabricada en sus mínimas "variaciones" posibles y que serán las producidas por estas ondas sencillas... y no a una obra enteramente controlada por tales ondas.

Las ondas son muy simples e invariables

No deseo insistir mucho sobre este tema, que personalmente considero de escaso valor artístico por lo expuesto en el párrafo anterior.

Se han puesto detectores de temperatura, humedad, movimiento, etc., en obras que se ejecutan en vivo y que van modificando el sonidos o música conforme a las variaciones de los elementos anteriores. Se han colocado detectores de movimiento en el cuerpo de los bailarines y la señal obtenida y tratada se usa para controlar los sonidos de un sintetizador. Se han colocado electrodos en la cabeza (de los utilizados para obtener los electroencefalogramas) y las señales se envían a una computadora que produce sonidos al recibir las ondas cerebrales. Veamos pues este caso específico, el más "espectacular" y juzgue el lector sobre sus posibilidades estéticas.

Las ondas cerebrales que se detectan desde el exterior

Para empezar, el lector debe tener en mente que las funciones cerebrales directamente relacionadas con el pensamiento, el comportamiento y las sensaciones en general, no pueden ser detectadas ni relacionadas con las ondas obtenidadas en el electroencefalograma (EEG). Lo que se registra en él, son pequeñas muestras de actividades rítmicas de la corteza cerebral. De las varias ondas producidas (alfa, beta, gama, delta, teta...), la que se utiliza, generalmente, es la onda o ritmo alfa. Las otras, en términos generales, están relacionadas o aparecen en el sueño o en estados patológicos del individuo, o simplemente son muy pequeñas y fugaces y por ello no pueden ser usadas con confiabilidad respecto a su aparición y control, para fines artísticos.

La más sencilla de captar es la alfa

Las ondas alfa son de unos 8 a 13 hz. y son las más fáciles de detectar y controlar voluntariamente. Aparecen al cerrar los ojos y mantenerse en reposo. Su intensidad es de unas 100 millonésimas de volts y desaparecen instantáneamente, o son bloqueadas, al abrir los ojos o entrar la persona en estado de excitación.

Podemos observar que la frecuencia está desde luego, en el rango infrasónico y apenas podría usarse para modular a otra onda externa y producirle un vibrato o trémolo de normal a rápido. También se podría usar como un interruptor (al aparecer y desaparecer) para iniciar o detener cierta acción exterior, aunque debe advertirse que las ondas no aparecen instantáneamente ni voluntariamente al cerrar los ojos sino que requiere cierto tiempo de concentración y tampoco se puede controlar su permanencia y duración, pues desaparecen de repente e involuntariamente.

¿Qué aplicación artística puede tener una onda como ésta...?

La figura nos muestra un experimentador con los electrodos de tipo EEG colocados para obtener las ondas alfa, que activarán posteriormente una computadora que produce música... o cualquier otra cosa: una cafetera eléctrica, un timbre, el encendido de un foco o... Deseo agregar que mediante estímulos externos (destellos luminosos sobre los ojos) la frecuencia puede llegar a ser entre 4 y 60 hz., pero las mismas consideraciones anteriores son válidas.

Figura VI.12 Detección de las ondas alfa para producir...

El día que se detecten las ondas cerebrales en toda su complejidad esto podrá cambiar, de momento esto exigiría una trepanación y la colocación de un electrodo en el interior, con resultados aún discutibles, pues las actividades cerebrales están más hacia allá (lo desconocido) que hacia acá y muchas de ellas son más del dominio de la química que de la electricidad,... ¿algún voluntario?

La vista es el sentido más poderoso y predomina sobre los demás en la recepción de información

Esto termina las aplicaciones de la electrónica a un arte integrado que contenga principalmente artes visuales. Antes de pasar al aspecto de la participación activa de los espectadores, deseo anotar que la mayor parte de la información externa es recibida por el ser humano a través de la vista, con predominio sobre los otros sentidos. Esto es natural si se considera que la vista tiene aproximadamente unos siete millones de conos (sensores visuales en luz intensa) y unos 75 a 150 millones de bastones (sensores a la luz escasa). Si comparamos estos sensores con los auditivos, que no pasan de 25,000 células ciliares, dando un total máximo de unas 350 mil pestañas o vellos sensitivos en total, es fácil de explicar el por qué esta preponderancia de la vista sobre los otros sentidos. Las fibras nerviosas que arriban a los ojos pasan de un millón y se ramifican en unos 150 millones de receptores ópticos. Los nervios que llegan al oído son unos 4,000, ramificados en unos 350 mil receptores acústicos. El artista que pretende presentar algún espectáculo multimedios deberá tener esto en mente, pues el aspecto visual predominará sobre el sonoro y se deberá buscar un énfasis sonoro inteligente y balanceado, de otro modo, la música simplemente desaparecerá ante los estímulos visuales.

9. Participación activa de los espectadores

La participación en una creación artística es más placentera que la sola contemplación

Todos los que en una u otra forma han participado en la creación o interpretación de una obra estética, saben bien la diferencia enorme que existe entre ser intérprete, autor o coautor, y la de ser simplemente espectador.

En varias instituciones de investigación musical se hacen experimentos con obras "incompletas" por así decirlo, en donde el público par-

Existen varias formas para hacer partícipe al espectador

ticipe activamente y contribuya a la forma acabada de la obra musical. Esto se antoja más factible si se hace uso de computadoras con varias terminales o también de obras formadas de varios módulos que pueden ser "armados" en formas diferentes por el espectador, dando origen así a una obra mixta: compositor-oyente... lo que a fin de cuentas nos trae a una versión en computadora del arca musarítmica o del arte de componer música por medio de dados, de Mozart; si bien, en una forma más avanzada y sofisticada, pues aquí no sería sólo la composición de la obra, sino también su interpretación, que sería por sonidos producidos por la misma computadora. De hecho, la tecnología actual ya permite el introducir una composición a una computadora y que al momento de ser interpretada, los oyentes puedan cambiar el tempo, la altura, el timbre... y con algunos ensayos lograr efectos de valor artístico que desde luego, serán altamente satisfactorios para el, o los oyentes, que fueron a la vez coautores de la obra final.

En términos aún más modestos, esto se puede realizar con un magnetófono y algunos módulos sencillos del sintetizador: filtros, generadores de envolvente, modulador anular,... con los que es posible alterar una pieza hasta hacerla irreconocible por su mismo autor, y aún conservar valores estéticos, sean los originales u otros nuevos.

Transformación de las obras actuales por medios electrónicos

En una ocasión, auxiliaba yo, como ingeniero de sonido, en la música de una película. Para una escena se requerían unos minutos de música que sugiriese o diera un cierto sabor folclórico, pero sin distraer la atención en el sentido musical, es decir, más de tipo electrónico que concreto. La presión del trabajo impedía que el compositor se retirara a la concepción y composición formal y posteriormente a su interpretación... yo sugerí modificar en el sintetizador una obra cualquiera tomada de un disco popular hasta "metamorfosearla" (como diría el maestro Carrillo) lo suficiente para que se perdiera el original, pero sin perder su sello o sabor de música folclórica. La reacción inicial fue de rechazo, por todos los riesgos del experimento: derechos de autor, ejecución pública, etc., pero era la única posibilidad de salir del atolladero, y yo ofrecí aceptar la responsabilidad. En unos 20 minutos el alambrado del sintetizador estaba terminado y listo para "procesar" varios discos, de los cuales uno dio el efecto buscado por el director musical de la película. El autor original de la obra del disco había "desaparecido", y sin embargo, allí estaba su obra. Evidentemente, con los medios actuales lo anterior, y mucho más aún, es posible y si no se realiza es simplemente porque nadie se ha decidido a formar un grupo pequeño y selecto de oyentes e investigar la recreación de obras musicales con la participación activa de tales oyentes-autores.

Las "variaciones electrónicas" sobre música actual no se han explotado.

Por otro lado, con un alambrado especial y no demasiado complejo, realizado en cualquier sintetizador moderno, cualquier obra puede ser modificada lo suficientemente como para poderla presentar como "variaciones electrónicas sobre un tema de...".

Hace algunos meses leí que un compositor de música electrónica había ganado un conocido premio por una obra en la cual "se hacían presentes los valores autóctonos de la música de su país sin ser completamente tal música". Yo tengo para mí, que este compositor realizó

el mismo experimento que yo, en la música de la película descrita arriba. Pero él concursó y yo sólo salí de un apuro. (Se comprenderá el silencio en nombres de premio y concursantes.)

Yo personalmente pienso que lo anterior (y si mi sospecha es cierta, lo confirma el premio otorgado) tendría tanto interés artístico (quizá más), que las versiones de obras clásicas realizadas en sintetizador y que están en boga actualmente, donde lo único que se ha cambiado ha sido, en términos generales, algún detalle del timbre y la adición de uno que otro efecto electrónico, como para recordar que no se trata de instrumentos tradicionales. Me parece seguro que si el autor original, hubiese tenido la sonoridad actual y la obra se hubiera compuesto para sintetizador, sonaría en forma diferente de como nos la presenta el "traductor".

De cualquier manera y en una u otra forma, lo expuesto anteriormente, ya representa una participación activa de los espectadores, aunque de momento sea en obras que no fueron concebidas para este tipo de experimentos. Yo personalmente lo realizo con cierta frecuencia y verdaderamente gozo de mis co-creaciones... quizá, y me atrevo a suponer, que muchos lo realizan también y, como yo, no lo hacen público, y quizá estamos llegando, sin saberlo, al arte, y creación personal, pero en relativo secreto y confinamiento.

El autor realiza estas variaciones en privado

RETROSPECCION GENERAL Y POSIBILIDADES FUTURAS PARA LA MUSICA EN PARTICULAR Y EL ARTE EN GENERAL

Hemos llegado, así, al final de este libro, recorriendo el arte, principalmente mecánico y fundamentalmente musical, desde sus primeras y simples tentativas, hasta el arte altamente sofisticado y complejo de nuestro tiempo, que exige del artista múltiples disciplinas y conocimientos.

Las tendencias artísticas las han sentado individuos

Estudiar la historia y tratar de extrapolar las tendencias, para adivinar o al menos intuir el futuro, no es tan simple como hacerlo con curvas de funciones matemáticas, en donde, encontrada la tendencia, la extrapolación es casi segura, y aunque esto se realiza con profusión en economía, estadísticas, pronósticos meteorológicos, etcétera, en el arte es casi seguro que se cometerán errores; ¿por qué?, bueno, el arte es altamente personal y las tendencias predominantes las han fijado individuos y no masas de hombres... de repente surge un genio y cambia toda la tendencia que se entreveía. Por lo demás, también hay que considerar que, estando dentro del presente, aún estas tendencias son difíciles de identificar, pues nos rodean y vivimos con ellas, siendo válida aquí también la ley de Fechner-Weber (¿algún lector aplicado se acuerda de ella?). Se podría aquí repetir el proverbio aquél de que: era tan densa la arboleda que no se veía el bosque. Pero haremos el intento que tiene una fuerza irresistible y ha sido la ilusión mayor de la humanidad durante toda su historia: ver algo de lo que vendrá; en todo caso, que quede así: como una ilusión.

Parece ser que el futuro pertenece a la computadora

El capítulo anterior sobre la computadora en la música, permite entrever que lenta, pero seguramente, el equipo se irá orientando al tratamiento digital absoluto. Ya habíamos hecho la división en tal capítulo de: sistemas analógicos (sintetizadores), sistemas digitales (computadoras) y sistemas mixtos (computadora controlando al sintetizador).

La tendencia actual se inclina claramente hacia lo digital puro en todos los terrenos del sonido, pues incluye además a la grabación magnética, como vimos en el apéndice dedicado al magnetófono. Si por el momento ciertas técnicas digitales son de costo prohibitivo, su abaratamiento es sólo cuestión de tiempo, con la nueva tecnología de circuitos integrados y producción masiva.

Por el otro lado, personalmente observo una tendencia perjudicial en los sintetizadores analógicos: cada vez tienden a una automatización mayor y el alambrado independiente se va limitando día a día, lo cual, si bien aumenta las ventas (siempre el maldito consumismo) por la facilidad de interpretación "en vivo", lo va eliminando del terreno de la composición al irlo despersonalizando e ir convirtiendo a la creación e investigación de nuevas sonoridades en una actividad cada vez más difícil o imposible. Esto definitivamente cierra (o cerrará) el interés por el sintetizador analógico por parte de los compositores e investigadores musicales, de seguir tal tendencia y simplemente será una prueba más de que el mercado de consumo masivo de los países industriales cierra las puertas a la creación y originalidad (¿espiritualidad?).

Los sintetizadores analógicos se automatizan y pierden versatilidad

El alambrado de los sintetizadores también es un problema serio cuando muchos músicos trabajan en el mismo sintetizador, ya que se pierde una enormidad de tiempo en el trabajo estéril de desalambrar el sintetizador para que el siguiente usuario trabaje, y en anotar cuidadosamente las conexiones, posiciones de perillas, interruptores... sólo para encontrar, después de volver a alambrar meticulosamente que se perdió el "maravilloso efecto" obtenido la víspera. Algunas soluciones prácticas ya comienzan a aparecer, como la que vimos en el estudio de Friburgo y en otras comerciales a base de matrices, y aun en las minicomputadoras que controlan a sintetizadores analógicos, que dan ya una solución a este problema, por lo que en el futuro se espera que desaparezca.

El alambrado se va resolviendo

En el aspecto digital, las nuevas minicomputadoras fabricadas ya como instrumentos musicales, eliminan una gran parte de los problemas complejos inherentes al análisis y a la programación, que sacan al músico de su especialidad en las computadoras medianas y grandes, además, su precio es cada vez más accesible, dando como resultado que se prescinda poco a poco de estas últimas, concebidas y utilizadas para otros fines.

Las minicomputadoras-musicales eliminan muchos de los problemas de las computadoras medianas y grandes

Respecto a la presentación en pantalla, que por el momento es la solución más prometedora en estos nuevos instrumentos, y con ser un medio poderoso y de fácil acceso y comprensión en las minicomputadoras, su complejidad va creciendo rápidamente conforme se progresa en una composición musical donde el compositor, obligado a cuidar los múltiples aspectos de su obra, va llegando a un límite en el que humanamente no puede analizar simultáneamente todos los factores y elementos que están en juego, perdiéndose el control ante la complejidad de los elementos que han intervenido.

Pros y contras considerados, el futuro parece pertenecer a las soluciones digitales puras.

Hasta aquí hemos hablado solamente del equipo y lo que me resta por añadir es, no una predicción futura, sino más bien un deseo ferviente: el artista ha quedado muy atrás respecto al desarrollo tecnológico en las diversas especialidades artísticas y nos es lícito pensar que muchos buenos cerebros han emigrado del arte a la tecnología capturados por así decirlo, por el mayor interés y posibilidades de creación que en el presente proporciona, como se vio en el capítulo VI. Ya una

El artista debe alcanzar a la tecnología moderna, que lo ha dejado atrás.

vez dentro de la técnica no han hallado el camino que los ligue a sus camaradas artistas "puros".

Interrogantes sobre el arte contemporáneo

Esta generación híbrida de "artistas-técnicos" o si se prefiere de "ingenieros-artistas", plantea varias interrogantes al observador:

- ¿El arte moderno se volvió tecnológico?
- O más bien, ¿se habrá vuelto colectivo (con ingenieros-artistas) y de estructura institucional, como aseveran en París?
- O la tendencia habrá cambiado, y ahora, en lugar de que el artista cree obras de arte –aún a través de las máquinas– ¿estará creando máquinas, para que ellas creen las obras de arte?... será por ello que el artista que emigró a la tecnología intuye que allí será más artista que si regresa al cauce y conceptos artísticos tradicionales.
- No será que un cambio profundo está convirtiendo al arte en una expresión regional, donde las obras sólo se conozcan localmente y no trasciendan internacionalmente (mucho de eso ocurre ahora, y de cualquier modo, en función de la población actual, más gente las conoce –aún regionalmente– que en el pasado internacionalmente).

¿Habrán cambiado las bases del arte, como se concibe tradicionalmente?

Quizá como comentaba yo con un famoso pintor que modificaba activamente sus técnicas pictóricas, y a pesar de ello se quejaba de la poca demanda de las obras de arte producidas en el presente, quizá el futuro muestre y considere como obras de arte representativas de nuestra época, no a los cuadros, esculturas o composiciones que producen los artistas actuales, sino a los satélites artificiales, a las computadoras presentando imágenes siempre cambiantes y música realizada por ellas, en forma seudoaleatoria, que nunca se repite, a torres cibernéticas que se mezclen con el paisaje y produzcan música extraña e imágenes holográficas abstractas y perfectamente tridimensionales.

¿El arte actual es tecnológico?

Quizá los augurios actuales como dirían los griegos hacen suponer que el arte se volvió tecnológico... las obras instrumentales, ¿no imitan con frecuencia al sintetizador y la computadora? Muchas pinturas actuales ¿no sugieren más bien las imágenes del osciloscopio y la pantalla de la computadora? Algunas esculturas, ¿no parecen más bien estructuras contrahechas u objetos tecnológicos? ...¿no será que el arte ya se desplazó de sus cimientos seculares (y de allí su impopularidad) y que a nosotros, por estar dentro del presente, nos está vedado comprender y percibir esta nueva perspectiva y mutación artística?

Yo prefiero pensar que no, y que la época actual es simplemente una de transición, meditación y experimentación, sobre los nuevos recursos tecnológicos en su aplicación al arte y que, por ser abrumadores en su calidad y cantidad, tienen confundido al artista presente.

Quiero pensar que los artistas geniales seguirán llevando el timón de los destinos del arte, que para mí es la expresión estética que logra trascender la materia y esta trascendencia llega a través de la inspiración y no de la tecnología, en la misma forma que la felicidad no llega a través de la riqueza... aunque ambas ayuden a sus logros respectivos.

Prueba de lo anterior es que existen una enormidad de estudios con recursos técnicos y económicos casi ilimitados, con instrumental monstruoso. para decirlo en una palabra, y que no producen nada de valor en la música actual... y en contraste, hay muchas obras de gran

valor e interés, logradas por individuos en minúsculos laboratorios donde una gran dosis de inspiración y transpiración son necesarias para producir una obra... y es que una cosa es tener y otra muy diferente es ser, aunque los yanquis traten de demostrar que son sinónimos. De no ser así, si sólo a través del oro se pudiese lograr la felicidad, la belleza estética, las obras de arte, o, en una palabra, la espiritualidad, estaríamos perdidos. ¡Esto no debe nunca olvidarlo un artista genuino!

GLOSARIO DE PALABRAS TECNICAS USADAS EN EL TEXTO
(y algunos términos y abreviaturas usadas en un estudio electrónico)

(v): véase esta palabra. (f): en francés. (i): en inglés.

ACOUSMATIQUE: (f) Acusmática, musica por computadora [f: ACOUStique + inforMATIQUE (v)], también estudio de un sonido cuando su origen es desconocido o ignorado (Schaeffer).

ADC o A/D: Siglas en inglés de convertidor analógico-digital (i: Analog to Digital Convertor).

ADSR: Siglas en ingles de ataque, decaimiento, duración y soltar (v. todas). (i: Attack, Decay, Sustain, Release). Módulo del sintetizador igual al integrador de envolventes, con la adición de soltar (por ejemplo, la tecla de un piano).

AISLANTE: Material que no conduce la electricidad (aislante eléctrico), o que atenúa fuertemente los sonidos, impidiendo su reflexión o transmisión (aislante acústico).

ALEATOR: Módulo que produce un voltaje de control de valor impredecible (aleatorio) cada vez que se le aplica un pulso eléctrico.

ALEATORIO: Al azar, cuyo valor no es posible predecir.

ALGORITMO: Conjunto de instrucciones dadas a una computadora para resolver un problema específico, por ejemplo la generación de una onda senoidal.

ALTAVOZ: Bocina (v).

ALTERNO: Que cambia de sentido periódicamente por ejemplo la corriente eléctrica pasa de positiva a negativa repetitivamente.

AM: Siglas de Amplitud Modulada, o modulación (v) de amplitud.

AMPLIFICACION: Aumento en la intensidad o volumen de un sonido.

AMPLIFICADOR: Mecanismo para transferir energía de una fuente eléctrica a un sonido, para producir una copia aumentada del mismo. Módulo para llevar las señales de un nivel medio a uno alto, que permita escucharlas en los altavoces.

AMPLITUD: Característica de un sonido que resulta finalmente en la presión ejercida en las moléculas de aire, y por lo tanto, en el tímpano del oído, determinando su mayor o menor desplazamiento y por ello la sensación de intensidad sonora.

ANALOGO O ANALOGICO: Ciertos valores o características determinados o definidos por comparación con otros ya conocidos (por analogía).

ANCHO DE BANDA: Diferencia entre la frecuencia de corte (v) superior y la inferior en un aparato (filtro, magnetófono, amplificador).

ARMONICA, CO: Se usan indistintamente en el texto. Componentes de una onda no senoidal, cuya frecuencia o altura es múltiplo exacto del sonido básico o fundamental. De la combinación de la fundamental y sus armónicas (todas senoides puras) resulta una onda compleja.

ATAQUE: Parte inicial de un sonido y de su envolvente donde, comenzando por el silencio, termina en un sonido y por lo tanto, en el movimiento de las moléculas del aire.

ATENUACION: Pérdida de la energía de una señal, sea acústica o eléctrica.

ATTACK: (i) Ataque.

AUDIO: Movimientos vibratorios del aire (principalmente) entre cuyos límites es sensible el oído humano (aproximadamente de 16 a 16,000 hz.), más correctamente llamada audiofrecuencia.

AVC: Siglas en inglés de control automático de volumen (i: Automatic Volume Control), también ALC: Automatic Level Control, control automático de nivel.

BALANCE: Control simultáneo del volumen de dos canales sonoros en forma inversa (cuando uno sube, el otro baja), usado comúnmente en estéreo para compensar la ganancia o ubicación de las bocinas y equilibrar la audición, compensar el tipo de recinto, etc.

BANANA: Tipo de conectores, receptáculos (v) y cables sin blindaje de un solo conductor, usados normalmente para interconectar voltajes de control y pulsos de tiempo en algunos sintetizadores.

BANDA: En un filtro: grupo de frecuencias que pasan a través de él si es de paso, o que son rechazadas o eliminadas, si es de rechazo.
Control de banda restirada o control lineal: banda metálica para control de frecuencias (generalmente), cuya distancia de izquierda a derecha es proporcional a la altura del sonido, el que se puede variar continuamente en glissandos perfectos.

BATIMIENTO: Pulsación (v).

BIAS: (i) Polarización (v).

BOCINA: Cono de cartón colocado en un imán permanente y movido por una bobina de alambre que recibe los sonidos en forma eléctrica.

BORRADO: Grabación magnética de un ultrasonido o desorden provocada en las moléculas magnéticas de la cinta.

BUS: Conductor eléctrico común para varias señales, procedente de, y dirigido a varios destinos.

CABEZA MAGNETICA: Anillo de láminas de hierro con una ranura que lo hace discontinuo y un enrollado de alambre. La cinta magnética (v) se hace pasar presionada sobre la ranura o entrehierro. Si se va a grabar, el sonido se hace pasar en forma eléctrica por el enrollado de alambre. Si se va leer, el sonido grabado en la cinta se producirá en el enrollado de alambre y de allí se amplificará. Si se va borrar, una señal de frecuencia ultrasónica se pasará por el enrollado de alambre.

CABLE: Reunión de varios conductores filiformes generalmente de cobre y cubiertos por un aislante plástico, con un conector en cada extremo, para interconectar los elementos eléctricos de un equipo.

CABRESTANTE: Eje metálico giratorio presionado por una polea de hule que impulsa a velocidad constante a la cinta magnética en los magnetófonos.

CAMBIADOR f/v: Módulo para convertir las frecuencias recibidas en voltajes de control, en forma directamente proporcional, es decir, a mayor frecuencia mayor voltaje y viceversa.

CANAL: Camino sencillo o circuito simple para la conducción eléctrica o los sonidos. En monaural (v) se maneja un canal, en estéreo (v) dos y en cuadrafónico (v) cuatro.

CAPSTAN: (i) Cabrestante (v).

CARDIOIDE: Literalmente: en forma de corazón. Forma de radiación o captación sonora de muchos instrumentos o altavoces y micrófonos, respectivamente; con fuerte atenuación en la parte posterior.

CIBERNETICA: Ciencia del control y de la comunicación.

CICLO: Fenómeno completo que se repite periódicamente.

CINTA GUIA: Cinta plástica igual que la magnética pero sin recubrimiento de óxido. Se usa para el principio, fin y separaciones o pausas del material sonoro en los carretes. Normalmente es de color claro.

CINTA MAGNETICA: Material plástico plano y continuo, usualmente de 6 mm. de ancho (1/4 de pulgada) y de 2 a 6 micras de grueso, donde en una de sus caras se ha depositado un material magnético. Se presenta enrollado en carretes normalmente con 365 m. (1,200 pies), 548 mts. (1,800 pies) y aún más, aunque menos recomendados para su uso normal.

CINTA SIN FIN: Una porción de cinta magnética con sus extremos ligados con objeto de formar un circuito de material sonoro repetitivo.

CIRCUITO: Conjunto de alambres, conductores o elementos eléctricos o electrónicos por donde circula una corriente eléctrica.

CIRCUITO DIVISOR: Filtro que divide una señal en dos o tres partes respecto a su frecuencia, normalmente usados para alimentar a los altavoces y dar a las bocinas grandes los bajos, a las medianas las frecuencias medias y a las pequeñas las altas, permitiendo así su mejor eficiencia y fidelidad.

CIRCUITO INTEGRADO: Combinación múltiple de elementos electrónicos, asociados de modo fijo e invariable en una sola pieza de tamaño extremadamente reducido.

COAXIAL: Que tiene el mismo eje. En cables es sinónimo de blindado, pues el cable central y el blindaje van en el mismo eje. En ocasiones se habla de bocinas de alta frecuencia (tweeter, v.) montadas frente a las bocinas grandes, sobre el mismo eje.

COLOR: En los sonidos se usa como sinónimo de timbre. En la luz, es la parte de la radiación electromagnética a la que es sensible el ojo

humano, comienza en el rojo oscuro y termina en el violeta. El negro es la ausencia de todo color y el blanco es la suma de todos los colores.

COMPENSACION: Igualación (v).

COMPILADOR: Programa traductor del lenguaje humano al lenguaje de la computadora.

COMPRESION: En el aire, lugares donde las moléculas están más densamente distribuidas, por efecto del empuje de una onda sonora al viajar en este medio. En una grabación o amplificación, la reducción sonora a límites menores que los normales en su dinámica.

COMPUTADORA: Aparato electrónico que lleva a cabo las instrucciones recibidas a una enorme velocidad y con medios apropiados para recibir la información por procesar (entradas), darle el tratamiento ordenado (proceso) y devolverla ya tratada, al exterior (salidas). Si la computadora es digital, trabajará en base a números solamente y si es analógica, trabajará por comparación con cantidades físicas ya conocidas (corrientes, voltajes, etc.).

CONCRETA: Música que utiliza los sonidos naturales, tratados las más de las veces por medios electrónicos, para desnaturalizarlos, o musicalizarlos.

CONDENSADOR: Aislante entre dos conductores, usualmente placas o láminas metálicas. Tipo de micrófono de baja distorsión y respuesta en un rango amplio de frecuencias.

CONDUCTOR: Material que transporta con facilidad la corriente eléctrica.

CONTROL: Medios ejercidos para que un aparato realice la función para la que fue diseñado. Si es control manual, se logra por medio de perillas, palancas, teclas, etc. Si es automático, por medio de voltajes de control producidos por otro aparato.

CONTROL AUTOMATICO DE VOLUMEN (CAV): Circuito para mantener el nivel sonoro en una grabación, transmisión, reproducción, etc., dentro de límites preestablecidos, independientemente del nivel sonoro original, para que no distorsione por sobremodulación ni se pierda en ruido por falta de suficiente nivel.

CONTROL DE PAUSA: En algunos magnetófonos, posibilidad de detener momentáneamente el movimiento de la cinta sin desactivar la grabación o reproducción.

CONTROL DE TONO: Circuito para incrementar o disminuir la amplificación en un rango específico de frecuencia (usualmente las bajas y las altas) con poco o ningún efecto para otras frecuencias.

CONTROL MANUAL: Operación de un mecanismo mediante el uso de la mano por medio de perillas, botones, cursores, etc.

CONTROL POR VOLTAJE: Operación de un mecanismo mediante la aplicación de un voltaje externo a su entrada de control (v), producido normalmente por otro mecanismo (teclado, cinta, aleator, etcétera).

CONTROL TACTIL: Módulo para producir voltajes de control y pulsos por acción de los dedos sobre teclas inmóviles.

CONTROL X-Y: Módulo que produce dos voltajes de control simultáneamente, también se le llama control bidimensional.

CONVERSOR V: Módulo para procesar voltajes de control.

CONVERTIDOR: Mecanismo para la transformación de unidades. Normalmente se habla de un Convertidor digital-analógico (i: DAC, o D/A) en cuyo caso el mecanismo convierte una señal sonora, de los valores numéricos de la onda, a sus valores equivalentes de voltaje, susceptibles ya de ser oídos en un altavoz. El convertidor analógico-digital (i: ADC o A/D), se usa para convertir una señal sonora, normalmente en volts, a su equivalente numérico, con el propósito de introducirlo en una computadora para su proceso.

CORRIENTE ELECTRICA: Flujo de electrones en un conductor. Si es corriente continua, el flujo es en una dirección solamente. Si es corriente alterna, el flujo va en una dirección, decrece a cero y se invierte la dirección, vuelve a decrecer a cero y vuelve a la dirección inicial y así sucesivamente.

CORTOCIRCUITO: Conexión anormal entre dos piezas de equipo eléctrico o entre dos puntos de un circuito, resultando en un flujo excesivo de corriente que por lo general causa daños o acciona los mecanismos de protección, si los hay.

CROSSOVER NETWORK: (i) Circuito divisor (v) de frecuencias.

CROSSTALK: (i) Interferencia (v) entre dos o más señales, que las hace mezclarse.

CUADRAFONICO: Tratamiento, amplificación y/o grabación de cuatro canales (v) simultáneamente.

CUE: (i) Mecanismo usado en los tocadiscos, que levanta y baja el brazo fonocaptor suavemente. En los magnetófonos, mecanismo que permite acercar la cinta a las cabezas en el enrollado y reversa rápidas, para oír lo que está grabado, y también para localizar a mano ciertos sonidos con fines de edición (cueing).

DECAIMIENTO: Reducción progresiva de la amplitud de una onda hasta el silencio, al término de la vibración de un cuerpo sonoro. La reducción no es instantánea, por la inercia de vibración del cuerpo.

DECAY: (i) Decaimiento (v).

DECIBEL: Medida de la relación de dos niveles de potencia. El cambio al doble corresponde aproximadamente a + 3 db. y a la mitad, a − 3 db. de la potencia base de comparación. Se abrevia db. o dB.

DIGITAL: Ciertos valores o características representados por el uso de dígitos o números.

DINAMICO: Se dice del principio consistente en una bobina de alambre que recibe una señal sonora y se mueve dentro de un imán permanente, se usa en micrófonos, bocinas, audífonos, etcétera.

DISTORSION: Cambio indeseable en la forma de onda de una señal, en el caso de una senoide aparece como armónicas de la fundamental, en sonidos complejos y múltiples, se agregan las restas y sumas de los sonidos, y en todos los casos pueden aparecer ruidos.

DOLBY: Sistema para reducción de los ruidos grabados en base a una compresión y expansión selectiva del material sonoro.

DUBBING: (i) Copiado o duplicación de cintas magnéticas.

DURACION: Condiciones bajo las cuales, los valores de un circuito o de un cuerpo sonoro en vibración permanecen constantes, después del transitorio inicial del ataque y antes del de decaimiento.

ECO: Repetición retrasada de un sonido. Efecto de grabación consistente en reintroducir un sonido que está siendo grabado, leyéndolo de la cabeza de lectura y mezclándolo nuevamente con la entrada de grabación. Se usa en velocidades mayores de 3.75 pulg./seg. pues si no, se oye como un sonido separado.

ELECTRET: Una variante de micrófono de condensador, de bajo precio.

ELECTROACUSTICA: Proceso de conversión de la energía sonora a energía eléctrica y viceversa. Nombre dado por los franceses a la música producida por aparatos electrónicos (no a la reproducción de la música tradicional).

ENTRADA: Terminales encargadas de recibir una señal o información para procesar, o una orden de control para modificar la operación de un aparato.

ENTREHIERRO: Ranura entre los polos de un electroimán. Abertura o discontinuidad en las cabezas de lectura, grabación y borrado magnéticos, y frente a la cual se presiona a la cinta magnética.

ENVELOPE: (i) Envolvente (v).

ENVOLVEDOR: Módulo para alterar la amplitud de una onda conforme a la envolvente o perfil de amplitud recibida.

ENVOLVENTE: Amplitud de una onda con relación al tiempo, desde su inicio hasta su total extinción, conteniendo una multiplicidad de ciclos. Consta de: Ataque (v) o inicio, duración (v) o lapso en que se conserva a la misma intensidad y decaimiento (v) o extinción hasta el silencio.

EQUALIZATION: (i) Igualación (v) o compensación.

ESPECTRO: Se dice de las componentes de frecuencia que forman una onda compleja, y también de la representación gráfica de estas componentes. En la luz, el conjunto de colores (v) a los cuales el ojo humano es sensible (espectro visible).

ESTEREO: Prefijo que indica tridimensionalidad. En sonido, tratamiento en base a dos canales (v) sonoros, para reproducir la ubicación espacial de los instrumentos orquestales (por ejemplo).

ESTROBOSCOPIO: Emisor de luz centelleante y controlable a voluntad.

EXPANSION: Aumento de los límites sonoros en su parte dinámica. Por lo general se usa posteriormente a una compresión, para restablecer los límites originales de la dinámica del sonido.

EXTRACTOR DE ENVOLVENTES: Módulo que aísla las variaciones de la amplitud de una onda (o perfil de su amplitud) y la proporciona a su salida en forma de un voltaje variable (no alterno).

FASE: En una onda periódica: la fracción que ha transcurrido desde su inicio.

FILTRO: Circuito para seleccionar frecuencias.

FILTRO DE PASO (o PASABANDA): El que atenúa las señales arriba y abajo de una cierta frecuencia (frecuencia de centro), sin afectar la o las frecuencias especificadas en un cierto rango de frecuencia llamado ancho de banda (v).

FILTRO DE RECHAZO: El que atenúa fuertemente el ancho de banda (v) especificado y deja pasar, sin atenuación, arriba y abajo de este valor. Es el inverso del de paso.

FILTRO O: Filtro de octava: Módulo que divide el rango audible en 10 bandas de frecuencia y las proporciona a su salida en forma separada o sumada, contiene controles de corte y atenuación.

FILTRO P: Filtro pasabanda: Es un filtro de paso. Módulo que divide el rango audible en 5 pasos de frecuencia, variables a voluntad en su corte y atenuación, y con salidas individuales o la suma de las cinco.

FILTRO PASA-ALTAS: El que pasa frecuencias superiores a su frecuencia de corte (v) y atenúa las de valor menor.

FILTRO PASA-BAJAS: El que deja pasar las frecuencias abajo de la de corte (v) y atenúa las frecuencias superiores a este valor.

FILTRO V: Módulo que contiene un filtro pasabanda controlado por voltaje en su ancho de banda y frecuencia central.

FLUTTER: (i) Distorsión sonora debida a las variaciones irregulares de la velocidad en un magnetófono o tocadiscos, reflejadas como una modulación de frecuencia irregular en el sonido.

FM: Siglas de Frecuencia Modulada o modulación (v) de frecuencia.

FORMA DE ONDA: Representación de la amplitud de una onda, o en última instancia, de la presión del aire sobre el tímpano del oído, con relación al tiempo. Puede ser positiva (compresión) o negativa (rarefacción).

FORMANTE: Región particular de frecuencias donde la energía de un sonido (sus armónicas) es predominante.

FORTRAN: Siglas en inglés de un lenguaje de computadora (FORmula TRANslation).

FRECUENCIA: Número de recurrencias o repeticiones de una oscilación periódica, por unidad de tiempo. Su unidad son los hertz (hz.).

FRECUENCIA CENTRO: Valor en hertz (v) de la frecuencia especificada para un filtro de paso o de rechazo, arriba y abajo del cual, y dependiendo del ancho de banda (v), el filtro es inefectivo.

FRECUENCIA DE CORTE: Valor especificado de la frecuencia en hz. para que la acción de un filtro sea efectiva, entre la atenuación y el paso libre de las frecuencias.

FUNDAMENTAL: Componente principal y de más baja frecuencia de una onda compleja. Normalmente con la mayor amplitud.

GRABACION MAGNETICA: Proceso de conversión de un sonido, primero en electricidad y después en variaciones magnéticas de un pequeño electroimán (cabeza magnética, v) a modo de formar una "imagen magnética" del sonido en la cinta magnética (v), de donde después puede ser reconstruido dicho sonido, mediante la lectura magnética (v).

HERTZ: Unidad de frecuencia (abreviada: hz.) que equivale a un ciclo por segundo.

HETERODINO: Circuito electrónico que mezcla dos señales de frecuencia diferente y extrae la diferencia o resta de ellas. Por ejemplo, se mezclan 50,000 hz. con 45,000 hz. y se extraen 5,000 hz.

HISS: (i) Ruido indeseable de alta frecuencia presente en el sonido y similar en contenido al ruido blanco.

HUM: (i) Ruido indeseable de baja frecuencia, procedente de la línea eléctrica (60 hz. y algunas armónicas), que se hace presente en el sonido.

IGUALACION: Modificación intencional de la respuesta plana de los amplificadores a las diferentes frecuencias, para compensar ciertas deficiencias o características de los componentes del equipo (discos, cinta, bocinas), mediante circuitos (filtros pasabanda) que atenúan o refuerzan ciertas bandas de frecuencia.

IMPEDANCIA: Resistencia de los circuitos al paso de las oscilaciones eléctricas o corrientes alternas.

INDICADOR LUMINOSO O DE PICO: Medidor usado en lugar —o en adición— del de VU (v) en algunas grabadoras magnéticas, que se enciende al llegar la señal al 100% de modulación o más.

INERCIA: Propiedad de los cuerpos a mantener el estado de reposo o movimiento en que se hallan.

INFORMATIQUE: (f) Informática. Ciencia de la computación electrónica.

INPUT: (i) Entrada (v).

INTEGRADOR DE ENVOLVENTES: Módulo para modelar una envolvente (v), la que modificará posteriormente la amplitud de una onda sonora.

INTENSIDAD: Medición de la sensación mayor o menor producida en el tímpano por una onda sonora.

INTERFERENCIA: Mezcla de dos canales (normalmente) y de las señales que contienen, causada por acoplamiento electromagnético o electrostático entre ellos (p. e.: dos conductores en un cable o dos canales de amplificación).

INTERRUPTOR: Artefacto mecánico, eléctrico o electrónico que sirve para suspender o dejar pasar libremente la electricidad.

INVERSION SONORA: También llamada inversión de cinta: Reproducción de una cinta magnética en el sentido inverso al de su grabación. El elemento más afectado es el ataque (v) de los instrumentos.

IPS: Siglas en inglés de pulgadas por segundo (i: inches per second), usada en los magnetofonos para las velocidades de la cinta magnética.

JACK: (i) Receptáculo para conectores eléctricos.

KEYBOARD: (i) Teclado. A veces se abrevia como KYBD. (Key es tecla).

KILO: Prefijo que significa mil. Por ejemplo: Kilohertz=Khz.=hz. x mil (en la notación antigua se denomina kilociclo).

KLANGFARBE: Timbre, en alemán (literalmente, color sonoro).

LASER: Siglas en inglés de luz amplificada por estímulos en la emisión de radiaciones. Haz de luz con alta concentración de potencia (i: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

LECTURA MAGNETICA: Es el proceso inverso de la grabación (v), donde la "imagen magnética" del sonido es convertida en electricidad por la cabeza magnética (v) y después amplificada y oída.

LFO: Siglas en inglés de oscilador (v) de baja frecuencia (i: Low Frequency Oscillator).

LINEAL: Salida de un circuito cualquiera que representa la suma exacta de las señales de entrada.

LOBULO: Forma geométrica tridimensional que indica la forma de radiación de la energía de instrumentos y altavoces, por ejemplo, o la de captación sonora de los micrófonos.

LOUDNESS: (i) Intensidad sonora. Se refiere a la sensación física del oído al sonido incidente. En los amplificadores, es un compensador que incrementa las bajas frecuencias cuando se escucha el sonido a bajo volumen, pues el oído es menos sensible en pocos decibeles a las bajas frecuencias. Al aumentar el volumen automáticamente va desapareciendo y es nulo el incremento a unos dos tercios del volumen.

LFP: Siglas en inglés de filtro pasa-bajas (i: Low Pass Filter).

MAGNETOFONO: Módulo que realiza el borrado (v), grabación (v) y lectura (v) magnéticas (en ese orden) y que contiene los mecanismos para mover la cinta magnética.

MATRIZ: Arreglo rectangular de conexiones, distribuidos en columnas (verticales) y líneas (horizontales). La conexión entre dos elementos se realiza en su intersección mediante un interruptor, botón, enchufe, etc.

MEDIDOR: Indicador del nivel de algún elemento eléctrico, acústico, etc. De grabación: Proporciona una indicación de las señales que están siendo aplicadas a la cinta magnética en la grabación o que se reciben en la lectura, para ajustar los controles a sus niveles óptimos.

MEGA: Prefijo que significa un millón. Megahertz=Mhz.=hz. x un millón.

MEZCLADOR: Circuito electrónico con varias entradas y una salida común.

MEZCLADOR M: Módulo que combina hasta diez sonidos en forma manual.

MEZCLADOR V: Módulo que combina mediante voltajes de control, hasta 10 sonidos.

MICRO: Prefijo que significa la millonésima parte: microvolt=millonésima parte de un volt.

MICROFONO: Artefacto que convierte las señales acústicas (sonidos y ruidos) en señales eléctricas de la misma forma de onda. De contacto: el que capta las señales unido a la fuente sonora.

MICROTONAL: Que utiliza intervalos menores que el semitono.

MILI: Prefijo que indica la milésima parte: milivolt=milésima parte de un volt.

MODULACION: Modificación de las características de una onda (amplitud, frecuencia)

en función de otra impuesta a ella por medio de circuitos especiales. Si la característica variada es la amplitud, se llama Amplitud Modulada [AM (v)], si es la frecuencia se llama Frecuencia Modulada [FM (v)]. Véanse trémolo y vibrato.

MODULADOR ANULAR: Módulo que recibe dos sonidos y entrega a su salida la suma y resta de ellos, perdiéndose los originales.

MODULO: Unidad que realiza una sola función y es susceptible de agruparse con otros, que realizan funciones diferentes pero compatibles, a fin de lograr cierto resultado previsto.

MONAURAL: Procesos sonoros sobre una sola vía de información. Pueden usarse varios canales, pero el material será idéntico.

MONITOR: Desviación de un sonido, en una fracción de su intensidad total, con el propósito de vigilar alguna operación que se realiza con tal sonido, normalmente la grabación.

MUESTREO: Valores digitales sucesivos de una onda.

MULTIPISTA: o Multitrack (i). Grabación de más de dos pistas independientes en una cinta magnética.

NIVEL: Se usa como sinónimo de intensidad, así, el nivel de ruido es la intensidad del ruido presente en cierto sonido. Nivel cero: es la referencia para ciertas mediciones de intensidad, y así, el umbral de la percepción sonora o sea donde justamente dejan de percibirse los sonidos, se considera nivel cero para la medición de los demás sonidos. En el estudio, nivel bajo es de menos de 1 milivolt a unos 10 mV., el nivel medio es de unas decenas de milivolts a varios cientos de mV., pero menos de un volt. Nivel alto es de varios volts a un centenar de volts. Todos estos valores fluctúan grandemente de equipo a equipo, las cifras presentadas son sólo aproximadas.

OMNIDIRECCIONAL: Que capta o emite con la misma eficiencia o intensidad en todas las direcciones.

ONDA: Propagación de una perturbación a través de cierto medio. Su representación se hace en dos ejes: amplitud y tiempo.

ORDINATEUR: (f) Computadora.

OSCILACION: Movimiento periódico o repetitivo de un cuerpo, de un lado a otro de su posición de equilibrio estático o de reposo.

OSCILADOR: Circuito electrónico para producir corrientes alternas periódicas. Módulo que genera ondas senoidal, cuadrada, rampa y triangular, en el rango audible de 5 hz. a 20 Khz.

OUTPUT: Salida.

OVERDUBBING: (i) Proceso para grabar sonidos sobre otros ya grabados previamente.

PARAMETROS: Elementos de un conjunto que están en correspondencia.

PASTILLA: Elemento colocado en el brazo de un tocadiscos, portador de la aguja y destinado a convertir los movimientos mecánicos en corrientes eléctricas para ser amplificadas. También se conoce como fonocaptor.

PATCH: (i) Alambrar. Patch cord: cable de conexión. Patching: Alambrado. Patchboard: Tablero de conexiones.

PAUSE: (i) Pausa. Véase control de pausa.

PERIODO: Tiempo requerido por una onda o sonido, para completar una oscilación completa (ciclo).

PHONE PLUG: (i) Enchufe microfónico.

PISTA: Area en una cinta magnética usada para grabar sonidos y que coincide con el entrehierro de la cabeza magnética.

PLUG: (i) Enchufe.

POLARIZACION: Corriente de alta frecuencia (50 a 150 Khz.) que se usa para borrar las cintas o para combinarla con la señal sonora que se va a grabar y que se requiere para lograr reducir la distorsión y el ruido.

PREAMPLIFICADOR: Aparato electrónico destinado a llevar las señales de bajo nivel eléctrico a nivel medio, adecuadas para un amplificador de potencia. El preamplificador normalmente incluye los circuitos de interconexión, interruptores, filtros y otros. Su amplificación va de 0 a unos 60 db. El premagnetófono, incluye los controles, voltajes y elementos necesarios para las cabezas de borrado, grabación y lectura.

PRE-GENERAL: Módulo pre-amplificador (v).

PRE-MANUAL: Módulo sencillo, sin controles, para elevar los niveles sonoros de bajo a medio y hacerlos compatibles con los niveles del sintetizador.

PRESENCIA: La calidad de naturalidad en una reproducción sonora.

PRE-VOLTAJE: Módulo para llevar el nivel sonoro de bajo a medio, en función del voltaje de control recibido.

PULSACION: Es una variación periódica en la amplitud de una onda al sonar simultáneamente con otra de frecuencia o altura muy próxima. La frecuencia de la pulsación es la resta de las dos frecuencias que suenan al unísono.

PULSADOR: Módulo que proporciona pulsos de control en forma repetitiva y programada.

PULSO: Onda aislada que inicia cierta acción en otro circuito. Cambio repentino en el nivel de cierta señal. Onda periódica rectangular o de pendiente muy abrupta.

RADIACION: Dispersión o forma de entrega, de la energía de un cuerpo vibrante al exterior, normalmente al aire. Puede ser en todas direcciones (omnidireccional), en dos (bidireccional), en una (unidireccional), o en forma de corazón (cardioide), etc. La forma de entrega es un cuerpo geométrico tridimensional que se propaga en el aire, llamado lóbulo de radiación.

RANDOM: (i) Aleatorio (v). Al azar.

RANGO: Relación entre el mínimo y el máximo. Rango dinámico: relación entre los niveles mínimo y máximo de la amplitud de una onda que puede ser procesado por un sistema. Rango de frecuencia: relación entre las frecuencias mínima y máxima que puede pasar un sistema, para cierta atenuación.

RECEPTACULO: Llegada de una conexión eléctrica, donde entra el extremo o enchufe de un cable (v) de conexión.

RELACION SEÑAL A RUIDO: Es el cociente de la relación que tiene a la señal como numerador y al ruido como denominador ($^{S}/_{r}$), ambos en db. Indica una cifra de calidad en la reproducción, mientras más alta, mejor.

RELEASE: (i) Soltar, normalmente en los instrumentos de teclado, al soltarse la tecla se inicia un segundo decaimiento (v), más corto que el primero.

RELOJ: Circuito eléctrico que genera elementos de sincronía, generalmente pulsos eléctricos, para hacer funcionar mediante éstos, a otros circuitos cronológicamente.

RESONANCIA: Vibración intensa de un cuerpo a cierta frecuencia específica llamada frecuencia de resonancia. Circuito eléctrico que produce una corriente máxima, cuando una fuerza eléctrica de cierta frecuencia específica le es introducida.

RESPUESTA: Gama o límites entre los cuales un sistema es sensible a la señal recibida (de intensidad, frecuencia, etc.) y se comporta activamente, dentro de sus características de operación.

RETROALIMENTACION: Aplicación de una porción de la señal de salida, nuevamente a la entrada de cierto sistema, con propósitos correctivos.

REVERBERACION: Reflexión múltiple de un sonido en las paredes, techo y objetos de un recinto. Circuito eléctrico que imita este efecto por medio de resortes, placas, etc. (Reverberador).

RING MODULATOR: (i) Modulador anular (v).

RUIDO: Vibración compuesta de multitud de ondas senoidales que no guardan relación de ninguna especie entre ellas.

RUIDO BLANCO: El que contiene todas las frecuencias existentes en la gama audible, con distribución uniforme de frecuencias.

RUIDO DE COLOR: En el que predomina una banda de frecuencias.

RUIDO ROSA: El que contiene todas las frecuencias audibles, pero en una relación de igualdad de potencia por octava.

RUIDOR: Módulo que produce ruidos blanco y rosa (generalmente).

SAMPLE AND HOLD: (i) Testigo (v).

SAMPLING RATE: (i) Muestreo (v).

SAWTOOTH: (i) Diente de sierra o rampa.

SECUENCIADOR: Módulo para producir una serie de eventos, uno tras otro, en forma programada.

SENOIDE: Oscilación u onda básica, sin ninguna reducción posible, que entra como componente de todas las demás oscilaciones complejas de la naturaleza, incluyendo al ruido.

SEÑAL: Información presentada en forma auditiva, visual, etc. Onda sonora, eléctrica o magnética.

SEÑAL PERIODICA: La que se repite cada cierto tiempo.

SIGNAL TO NOISE RATIO S/N: (i) Relación señal a ruido (v).

SINCRONIZAR: Mantener la relación correcta de tiempo entre varios eventos.

SINCRONO: Que marcha en una correspondencia exacta con un cierto patrón. Un motor síncrono por ejemplo, marcha a una velocidad que es un múltiplo exacto de la frecuencia de la co-

rriente de alimentación: 60 hz. (en Europa 50 hz.).

SIN FIN: Cinta magnética con sus extremos unidos y que circula constantemente por un magnetófono.

SINTESIS SONORA: Producción de sonidos por medio de sus partes componentes elementales. Puede ser síntesis aditiva, sumando una a una las componentes de dicho sonido. Puede ser sustractiva, extrayendo de una onda compleja, la o las partes requeridas para constituir tal sonido. Las otras componentes (envolvente, intensidad, etc.) se pueden manipular a voluntad mediante el sintetizador (v).

SINTETISTA: Músico que interpreta con el sintetizador como instrumento.

SINTETIZADOR: Aparato electrónico para construir los sonidos en base a sus componentes elementales (timbre, envolvente, intensidad, etc.) y manipularlos a voluntad, en forma manual, o en algunos casos, enteramente automática.

SINTHESIZER: (i) Sintetizador (v).

SOLTAR: En algunos integradores de envolvente, el efecto peculiar de soltar la tecla (por ejemplo: en un piano) que produce un segundo decaimiento, más breve que el primero.

SONIDO: Onda sonora. Movimiento de tipo vibratorio en un cuerpo entre 16 y 16,000 hz., que es transmitido a un medio elástico. Superposición de tales vibraciones.

SONIDOS DOBLES: Proceso de grabar una pista magnética y después reproducirla y grabar otras mientras se escucha la o las anteriores.

SONIDOS ENCIMADOS: Grabación múltiple de sonidos en una cinta magnética mediante la desconexión de la cabeza de grabado.

SONIDOS MULTIPLES: Proceso consistente en la grabación de una pista magnética, tocarla después y regrabarla en otra pista, con material sonoro adicional.

SOUND OVER SOUND: (i) Sonidos encimados (v).

SOUND ON SOUND: (i) Sonidos múltiples (v).

SOUND WITH SOUND: (i) Sonidos dobles (v).

SUPER CARDIOIDE: Lóbulo similar al cardioide (v), pero más estrecho.

SUSTAIN: (i) Se usa como sinónimo de (i) duration o duración (v).

SWITCH: (i) Interruptor (v).

TABLERO DE CONTROL: Conjunto de terminales eléctricas (interruptores, enchufes, etc.) para manipular, interconectar o accionar circuitos o módulos a voluntad.

TAPE LOOP: (i) Cinta sin fin (v).

TECLADO: Control manual de los instrumentos musicales, constituido por palancas (teclas) que accionan mecanismos que producen los sonidos. En el sintetizador, produce voltajes de control, para los diferentes módulos de que consta.

TESTIGO: Módulo que toma muestras de la amplitud de las ondas recibidas en su entrada y las proporciona a su salida (los voltajes de las muestras) al recibir un pulso.

TIERRA: Punto de referencia de un circuito para tomar mediciones de voltaje.

TIMBRE: Característica de un sonido que resulta de su contenido armónico en frecuencia e intensidad.

TIMING PULSES: (i) Pulsos de tiempo.

TRACK: (i) Pista (v).

TRANSDUCER: (i) Transductor (v).

TRANSDUCTOR: Mecanismo para convertir información de un estado físico a otro (por ejemplo, el micrófono convierte señales acústicas en eléctricas, la bocina a la inversa, la cabeza de grabación de eléctricas a magnéticas, la de lectura a la inversa, etcétera).

TRANSITORIO: Evento sonoro de muy corta duración.

TREMOLO: Modulación en la amplitud de una onda, por otra de baja frecuencia, aproximadamente entre 1 y 12 hz.

TUBO DE RAYOS CATODICOS: Bulbo al vacío con una pantalla al frente, usado en el osciloscopio y el cinescopio de televisión, para la presentación de imágenes formadas por el choque de un haz electrónico contra el fósforo de la pantalla.

TWEETER: (i) Bocina pequeña que responde eficientemente a las altas frecuencias.

UMBRAL: Intensidad mínima capaz de producir una sensación. En nuestro caso auditiva, también llamado umbral de detección o umbral de audición.

VCA: Siglas en inglés de amplificador controlado por voltaje (i: Voltage Controlled Amplifier).

VCF: Siglas en inglés de filtro controlado por voltaje (i: Voltage Controlled Filter).

VCO: Siglas en inglés de oscilador controlado por voltaje (i: Voltage Controlled Oscillator).

VIBRATO: Modulación de frecuencia, usualmente entre 5 a 8 hz.

VIDEO: Parte de la televisión correspondiente a la imagen y sus circuitos.

VOLTAJE: Presión eléctrica que forza a la corriente a viajar de un punto a otro de un conductor. Presión eléctrica en un punto de un circuito, con relación a tierra o potencial cero.

VOLTAJE DE CONTROL: Utilización de un voltaje eléctrico controlado, para determinar la operación de un cierto circuito: oscilador, amplificador, filtro, otros voltajes de control, etcétera.

VOLUMEN: Sinónimo de intensidad sonora.

VU: Siglas en inglés de unidades de volumen (i: Volume Units), usadas en los medidores de intensidad sonora. Es una variante de los db., pero con modificación especial en el movimiento de la aguja, para simular la percepción sonora auditiva.

WOW: (i) Distorsión por variaciones en la velocidad de un magnetófono o tocadiscos, resultado en modulación de frecuencia, aproximadamente de 0.1 a 5 hz.

WOOFER: (i) Bocina de gran tamaño para reproducir eficientemente las bajas frecuencias.

INDICE ALFABETICO

Absorción sonora 104
Acústica 127
Aeolian 36
Agudeza auditiva 86
Aisthesis 6
Alambrado:
  de sintetizador 202
  problemas de 297
Aleator 178
Aleatorio 49
Altura o frecuencia 64, 81
Amplificación 197
Amplificador 200
Amplitud 64
  modulada 93
Análisis tímbrico 66
Analista 223
Androides musicales 32
Añadido de cintas 149
Apollonicon 28
Arca Musaríthmica 50
Armónicas
  o armónicos 66, 100
Arte:
  electrónico 12, 275
  moderno 298
  tecnológico 298
Ataque (envolvente) 94
Audiograma 80
Azar 50

Banda restirada 45, 183
Barrido (televisión) 279
Batimiento 103
Bechstein 46
Bel 77
Bell Telephone 230
Binario 214
Bit 214
Bode 131
Borrado de cintas 151
Buchla 161

Cabezas magnéticas 144
Cables de conexión 201
Cage 53
Cahill 39
Caja de música 22
Cambiador f/v 194
Campana 18
Canales 141
Caracol (oído) 73
Carillón 16
Carrillo 7
Cibernética 285
Ciberteatro 288
Ciclo 64, 83
Cilindro y pernos 18, 22
Cinético 285
Cinta magnética 143
Cinta sin fin 152
Clavilux 124
Colonia, Radio 131
Color:
  en imágenes 277
  en la música 121
Compilador 224
Componium 30
Composición, 13
  al azar 49
  con barajas 53
  con dados 53
  milimetración 55
  por computadora 205, 208, 223
Compositor 13
  -ingeniero 13
Computadora 11, 205, 296
  estructura 211
  imágenes por 289
Concierto de ruidos 56, 128
Conectores 201
Conexiones
  en computadora 234
Contenido armónico 66, 235
Control:
  por computadora 208, 239
  por voltajes 163, 170, 177
  táctil 185
  X-Y 183
Conversor V 180
Convertidor D/A 206, 218, 228
Corte:
  de cintas 149
  de filtros 92
Cuadrada, onda 67
Cuadrivio 10
Cuerdas vocales 97
Cuerpo vibrante 61

Decaimiento 96
Decibel 77
De Forest 40
Diagrama
  de bloque 223, 228
Difracción sonora 92
Digital 216, 296
Dinafón 46
Direccionalidad 101, 116
Distorsionador de onda 140
Droz 33
Duración 96

Eco 105
Efecto Doppler 105
Electroencefalograma 292
Emicon 46
Encubrimiento 84
Enmascaramiento 84

Envolvedor 193
Envolvente 94, 115, 156, 177
Esferófono 42
Estribo (oído) 74
Estroboscopio 286
Estudio "clásico" 11, 127
Extractor de envolvente 179

Fairlight 230
Fase, diferencia de 65, 102
Fatiga auditiva 88
Fachner-Weber, ley de 76
Feria mundial 288
Filtraje 89
Filtro O 189
Filtro P 188
Filtro V 190
Filtros básicos 91, 139
Fonoteca 233
Forma
de onda 67, 98, 110, 236
Formante 98, 100, 110
Fortran 224
Fourier 66
Frecuencia: 64, 108
audible 82, 119
modulada 94
Frecuencias y su uso 120
Función almacenada 221
Futurismo 56
Futuro 242, 296

Gabor 283
Gama:
de frecuencias 120
de instrumentos 109
Gavioli 28
Generación
sonora 106, 135, 172
Glosario técnico 12, 301
Grabación:
sonora 135, 140, 172, 195
de video 280
digital 156
Grabación mecánica 19
Gramófono 38

Hammond 46
Hellertion 46
Helmholtz 6
Hiller 54, 205
Holografía 283
Honegger 6

Icofón 276
Illiac 54, 205
Imagen:
del sonido 276
"concreta" 281
por computadora 289
Informática 205
Instrumentos:
musicales 106, 107, 108
tradicionales 106
Integrador
de envolventes 192
Intensidad
sonora 78, 81, 113
Interferencia 102
Inversión sonora 153
IRCAM 243
Isaacson 54, 205

Karapetoff 46
Kaufmann 31, 36
Kendall 54
Kircher 53

La de 440 hz. 84
Lápiz
luminoso 206, 227, 236
Láser 281
Laserium 283
Leibowitz 6
Lenguaje
de computadora 214
Lengüeta 23
Lissajous 276

Mager 43
Magnetófono 131, 140, 141, 196
Mälzel 30, 34
Máquina 16, 58
de componer 30, 50
Mareppe 34
Marinetti 56, 128
Martenot 44
Martillo (oído) 73
McLaren 54
Medio transmisor 62
Mellertion 46
Melocordio 135
Memorias
de computadora 211
Metrónomo 30
Meyer-Eppler 131
Mezcla 92, 135, 138, 170, 175
Mezclador M 175
Mezclador V 176
Microcircuito 207
Micrófonos 135
Microtonos 82
Minicomputadora 207, 239
musical 230, 297
Modificación
sonora 135, 138, 170, 188
Modulador anular 135, 192
Modulación sonora 93
Monocordio 135
Moog 161
Morfofón 130, 140
Mozart 51
Muestreo 217, 222
Multimedios 288
Music,
programas 206, 219, 222
Música:
concreta 129
contemporánea 6
científica 6
de fondo 26
dibujada 133
electrónica 131
para cinta 133
por computadora 209

Nivel sonoro 77
Nixon, citarista de 35
Nota musical 220

Oído 71, 293
Ojo 293
Omnifón 11, 108, 167
Onda:
compleja 172
senoide 172
Ondas:
cerebrales 291
formas de 109
Martenot 44
Organo, 24
callejero 28
canariero 27
de luces 124
hidráulico 24
mecánico 25
Orquestrión 30
Oscilaciones 61, 118
Oscilador 41, 107, 136, 172
Osciloscopio 276

Pantalla, 211, 230, 232, 276, 279, 290
gráfica 227, 232
Participación de los espectadores 293
Partitura en computadora 219
Pasadas en computadora 227
Percepción auditiva 74
Pérdida auditiva 81
Persistencia auditiva 86
Philips 288
Piano preparado 6
Pianola 21, 35
Pista magnética 145, 148
Pliegues vocales 96
Polifón 20
Poulsen 131
Pratella 55
Preamplificador, 194, 197
general 199
magnetófono 195
manual 197
voltaje 198
Programa:
de computadora 209, 213
Music 219
Programador 224
Pulsaciones 103
Pulsador 181
Pulso, onda 67
Pulso de control 163

Radio Colonia 131
Radio Francia 129
Rampa, onda 67
RCA, sintetizador 160
Reflexión sonora 105
Refracción sonora 105
Reloj:
de flautas 29
musical 29
Reproducción sonora 135, 141, 170
Resonador 70, 97
Resonancia 70, 111
Respuesta auditiva 76
Reverberación 105, 138, 153
Reverberador 191
Riemann 6
Ritmo alfa 291
Robots 288
Ruido, 49, 68, 117, 128
blanco 69
rosa 69
Ruidor 172, 174
Ruidores 55, 172, 174
Russolo 55

Schaeffer 128
Scherchen 6
Schömberg 6, 7
Schöfer 285
Secuencia melódica en computadora 235
Secuenciador 186
digital 239
Senoide 63, 217
Sensibilidad auditiva 80
Síntesis:
tímbrica 67
de video 281
Sonido, 61
por computadora 206
Sonidos:
encimados 155
múltiples 155
Sonovisión 282
Sordera 81, 89
Sordina en cinta 153
Stravinsky 6

Tarjeta perforada 226
Teclado 184
Telharmonium 39
Televisión 279
Testigo 182
Theremin 41
Tiempo:
compartido 219
de percepción 84
real 208
Timbre 66, 68, 110
Tímpano, oído 73
Tonos subjetivos 87
Torres cibernéticas 285
Transmisión sonora 105
Trautonio 45
Trautwein 45
Triangular, onda 67

Ubicación sonora 85
Unidad aritmética y lógica (computadora) 212
central de proceso 212
de control 212
Unger 19
Ussachevsky 9

Vaucanson 33
Velocidad:
de cintas 144
sonora 62
Vibrador 135
Vibrato 93
Video 280
Videoarte 279
Villalobos 55
Violín mecánico 36
Visión 293
Vocales 96
Voltajes de control 163
Volumen sonoro 78, 80
Voz 96
VU *(volume units)* 78

Weber-Fechner, ley de 76
Welte 32, 36
Wiener 285
Winkel 30

Yunque, oído 73

Zach 285
Zinovieff 208

BIBLIOGRAFIA

APPLETON Y PERERA: The development and practice of electronic music. Prentice Hall.

AKADEMIE DER KÜNSTE: Für Augen und Ohren. Berlín.

BERANEK, Leo: Acoustics. McGraw Hill.

BUCHNER, Alexander: Mechanical musical instruments. Batchworth Press, Londres.

CAHIERS RECHERCHE/MUSIQUE: INA-GRM. Radio France, París.

COHEN, Jozef: Eyewitness in Psychology III. Rand Mc. Nally.

CULVER, Charles: Musical Acoustics. McGraw Hill.

DORF, Richard: Electronic musical instruments. Radiofile.

DOUGLAS, Alan: The electronic musical instruments manual. Pitman.

EDMUND SCIENTIFIC: Catálogos.

ERNEST, David: The evolution of electronic Music. Schirmer.

HILLER & ISAACSON: Experimental music. McGraw Hill.

HOWE, Hubert: Electronic music synthesis. Norton & Co. Nueva York.

JANKINS & SMITH: Electric music. Indiana.

LEIPP, E.: Acoustique et musique. Masson et Cie.

MALINA, Franck: Kinetic Art, Theory and practice. Dover.

MATHEWS, Max: The technology of computer music. MIT.

NIJSEN, C. G.: Guide du magnétophone. Marabout, Philips.

OLSON, Harry: Musical Engineering. McGraw Hill.

– Acoustical Engineering. Van Nostrand.

PINCHERLE, Marc: An illustrated History of Music. Reynal & co. Nueva York.

RYDER, John: Scope traces. Ryder Publications.

SCHAEFFER, Pierre: A la recherche d'une musique concréte. Seuil.

SCHOLES: Oxford companion to Music. Oxford University Press.

SEASHORE: Psychology of Music. McGraw Hill.

– In search of beauty in Music. Roland.

STRANGE Allen: Electronic Music. Wm. C. Brown.

Von Foerster: Music by computers. Wiley.

WELLS, Thomas: The technique of electronic music. Sterling Swift.

HEMEROGRAFIA

Computer Music.

Electronotes.

Synapse.

CREDITOS DE LAS ILUSTRACIONES QUE APARECEN EN EL LIBRO

Todas las fotografías, excepto la de la portada, fueron tomadas por el autor, en la siguiente lista se indican las fuentes originales:

Portada:
Diseño: El autor.
Fotografía: Salvador Ortiz B.

CAPITULO I

1.– The Oxford Companion to Music, (OCM), 1955, Scholes.
2.– Reijken V. D. Delft.
3.– Mechanical Musical Instruments, Buchner (MMI).
4.– MMI.
5.– Museo Nacional de Praga (MNP).
6.– MNP.
7.– Compañía Aeolian, Rochester.
8.– Misurgia Universalis, Kircher, Roma, 1650.
9 y 10.– MNP.
11.– MMI.
12.– El autor y Kircher (como la número 8).
13.– MMI.
14.– Colección Claudius, Copenhage.
15.– Museo estatal de Leningrado.
16 a 18.– MNP.
19.– Museo industrial de Stuttgart.
20.– Conservatorio Real de Bruselas.
21.– Illustrated London News.
22.– MMI.
23.– Museo Nacional de Neuchatel.
24.– Museo Alemán, München.
25.– MMI.
26.– Museo de Arte e Industria de Hamburgo.
27.– Museo Estatal de Berlín.
28.– OCM.
29.– Electronics Art Foundation.
30.– Oficina de Patentes, Washington.
31.– OCM.
32.– Musica ex Machina, Prieberg.
33.– CENIDIM, México.
34.– F. Trautwein, Dusseldorf.
35.– Peter Lertes, Elektrische Musik, Leipzig, 1933.
36.– Hammond Instr. Co.
37.– Misurgia Universalis, Kircher, 1660.
38 y 39.– OCM.
40.– Musica ex Machina, Prieberg.

CAPITULO II

1 a 12.– El autor.
13.– Fletcher y Munson.
14.– El autor.
15.– Stevens.
16.– Lewis.
17.– Burck, Kotowski, Lichte y Von Békésy.
18.– Fletcher y Munson.
19.– Knudsen, recalculada por el autor.
20.– Stevens y Davis.
21.– Wegel y Lane.
22 a 36.– El autor.
37.– Science (AAAS).
38 a 45.– El autor.
46.– OCM.

CAPITULO III

1.– Radio Francia.
2.– Oficina de Patentes, Washington.
3.– Radio Colonia (RC).
4.– RC.
5.– El autor.
6.– El autor (Hewlett Packard).
7 a 11.– El autor.
12.– Nortronics.
13 y 14.– El autor.
15.– Computer Music, redibujada por el autor.

CAPITULO IV

1.– Columbia Princeton Electronic Studio.
2.– Catálogos Moog y Buchla.
3 a 37.– El autor.

CAPITULO V

1.– Electronics.
2.– El autor.
3.– Manual IBM (370-158).
4 a 8.– El autor.
9.– Fairlight Instr. Co. y Bell Telph. Co.
10 a 17.– El autor.
18.– Roland Co. y EMS Co.

CAPITULO VI

1 y 2.– El autor.
3.– Leonardo Journal.
4.– Kinetic Art-Malina. (dover Publications, New York.
5.– El autor.
6.– Margaret Benyon, Escocia.
7.– Jan Zach, (EUA) y Nicolás Schöffer, (Hungría).
8.– Edmund Scientific.
9.– Lev Nusberg (URSS).
10.– Philips G. F., Holanda.
11.– Richard Land, (EUA).
12.– Edmund Scientific.

INDICE GENERAL

PRESENTACION 3

INTRODUCCION. ***EL LUGAR ACTUAL DE LA MUSICA*** 5

PROLOGO. ***CONTENIDO E INTENCIONES DE LA OBRA*** 10

CAPITULO I. ***ESBOZO HISTORICO***

Presencia continua de la máquina en la música

1. Resumen 15
2. *Homo mecanicus* 15
3. El control mecánico y sus instrumentos 16
4. El control neumático: pianolas y violines mecánicos 35
5. El control eléctrico y electrónico 39
6. Apéndices 49
   A) Los juegos de azar en la composición musical 50
   B) El movimiento futurista y sus "ruidores" 55
7. Conclusión 58

CAPITULO II. ***ELEMENTOS DE ACUSTICA MUSICAL***

1. Resumen 60
2. Conceptos: *Las oscilaciones y sus atributos* 61
3. Aplicación práctica: *El oído como receptor sonoro* 71
4. Conceptos: *Algunos tratamientos sonoros* 80
5. Aplicación práctica:
   La voz humana como emisor sonoro e instrumental 96
6. Conceptos: *El sonido en el espacio* 101
7. Aplicación práctica: *Los instrumentos musicales tradicionales* 106
8. Apéndice A: Las oscilaciones en la naturaleza 118
   Apéndice B: El color en la música 121
9. Conclusión 125

CAPITULO III. ***LOS PRIMEROS ESTUDIOS DE MUSICA ELECTROACUSTICA O "ESTUDIOS CLASICOS"***

1. Resumen 127
2. Esbozo histórico *(continuación)* 128
3. La música concreta en Francia 129
4. La música electrónica en Alemania 131
5. Los nuevos instrumentos musicales y su funcionamiento 134
6. Apéndice: Guía de utilización del magnetófono:
   A) Descripción y funcionamiento 142
   B) Utilización y consejos prácticos 146

CAPITULO IV. ***EL SINTETIZADOR CONTROLADO POR VOLTAJE***

1. Resumen 158
2. Esbozo histórico *(continuación)* 159
3. Los sintetizadores de la RCA 160
4. Los sintetizadores de Moog y Buchla 161
5. Los voltajes de control 163
6. El *Omnifón*, un sintetizador didáctico y sus módulos 170
   - 6A. Generación 172
   - 6B. Mezcla 175
   - 6C. Control 177
   - 6D. Modificación 188
   - 6E. Grabación y reproducción 195
   - 6F. Amplificación y audición 197
7. Un ejemplo de alambrado normal 201

CAPITULO V. ***LA COMPUTADORA EN LA MUSICA***

1 y 2. Resumen, esbozo histórico *(continuación)* y formas de utilización de la computadora: 205
   - 2A. Como compositora 205
   - 2B. Como instrumento musical 206
   - 2C. Como control de un sintetizador 208

3. Descripción de una computadora 209
4. La computadora usada como instrumento musical 216
5. Partitura electrónica o control por computadora de un sintetizador: *secuencias digitales* 239
6. Apéndice: La computadora y la música en París 242

CAPITULO VI. ***APLICACIONES ARTISTICAS DE LA ELECTRONICA USUALMENTE ASOCIADAS CON LA MUSICA O "ARTE ELECTRONICO INTEGRADO"***

1. Introducción 275
2. La imágen del sonido: *Icofón* 276
3. Arte pictórico en televisión: *videoarte* 279
4. El LASER 281
5. Esculturas y torres cibernéticas 285
6. Teatro estroboscópico y efectista. Los espectáculos multimedios 286
7. Imágenes por computadora 289
8. Música por ondas cerebrales 291
9. Participación activa de los espectadores 293

RETROSPECCION GENERAL Y POSIBILIDADES FUTURAS 296

Glosario de palabras técnicas usadas en el texto 301

Indice alfabético 311

Bibliografía sumaria y algunas referencias útiles 314

Créditos de las ilustraciones que aparecen en el libro 315

NOTA IMPORTANTE

El estudiante habrá notado que la música electrónica, sus técnicas y el instrumental que utiliza, se encuentran en plena efervescencia, especialmente en el área de las computadoras y el espectáculo de multimedios.

Los libros se hacen obsoletos con rapidez y el estudiante tiene que estar al día a través de las revistas y los reportes de los centros de investigación y aplicación.

El autor, reconociendo lo anterior, desea publicar cada fin de año un folleto de actualización sobre los diversos temas que se han tratado en este libro y sobre algún otro relacionado con la especialidad, que se juzgue de interés sobresaliente.

Si usted desea recibir estas comunicaciones y estar al día en esta rama del arte, sírvase enviar sus datos (nombre, dirección y teléfono) a:

INBA-CENIDIM
Liverpool 16
Colonia Juárez
Delegación Cuauhtémoc
06600, México, D. F.

y en su oportunidad se le comunicará el contenido de la publicación y su precio de adquisición.

Se terminó de imprimir este libro
el día 12 de enero de 1982,
en los talleres de Razo Impresores,
Insurgente Pedro Moreno 218 - 11,
en México, Distrito Federal.

La edición estuvo al cuidado del autor
y de la División Editorial de
PROLIBRO, S. A.

Se tiraron 1,000 ejemplares.

M4092
P339
CENIDIM
BIBLIOTECA
INBA