

## SINTETIZADORES

<sup>1</sup>CRISTIAN LUNA, <sup>1</sup>IGNACIO BEVACQUA Y <sup>1</sup>NICOLÁS SALVAY

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC). Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina.  
51681@electronica.frc.utn.edu.ar, 51832@electronica.frc.utn.edu.ar,  
52003@electronica.frc.utn.edu.ar

**Resumen** – *Con el avance de la tecnología y los sistemas electroacústicos a partir del año 1900 empezaron a surgir una nueva generación de instrumentos cuyo principio de funcionamiento radica en la utilización de dispositivos electrónicos. Por esa razón, la intervención y protagonismo de técnicos o ingenieros de audio con aplicación en la música fue tan significativa como la del mismo músico. Un sintetizador de audio es un instrumento musical electrónico que permite la generación y control de señales de audiofrecuencias producidas electrónicamente las cuales posteriormente se mezclan con otras ondas de características similares, pudiendo generar una gran cantidad de diferentes sonidos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo está referido a la tecnología que permite obtener sonidos a partir de métodos no acústicos, la síntesis acústica y más específicamente al instrumento conocido como sintetizador.

El objetivo es introducirse en el ámbito de los instrumentos electroacústicos con motivo de analizar el principio de funcionamiento y estructura interna desde el punto de vista de la ingeniería electrónica.

El trabajo desarrolla la estructura completa de un sintetizador electrónico básico, comenzando por el análisis general, para luego explicar cada bloque constitutivo en forma independiente describiendo sus características funcionales.

### 2. SURGIMIENTO

A partir del año 1900 surgieron varios instrumentos musicales electrónicos, entre ellos Telharmonium (1900), el Audiómetro (1920), el Theremin (1928), el martenot (1928, primer instrumento electrónico controlado por un teclado, similar a un piano) y más tarde vendrían el traonium y el voder (sintetizador de voz humana, año 1939) que son los auténticos precursores de los sintetizadores surgidos en 1955 MARKI y MARKII bajo el patrocinio de la empresa RCA. Estos no eran controlador por un teclado sino que el sonido era decodificado de una cinta de papel perforada y codificada previamente por un compositor.

Más adelante con la invención de los VCO, los VCF y los VCA por parte de la empresa Moog, surge el primer sintetizador modular controlador por un teclado (año 1964).

### 3. SINTESIS

La síntesis, como fue mencionado anteriormente, es el proceso mediante el cual se puede obtener sonido a partir de medios no acústicos. La misma se puede dar mediante procesos analógicos como la

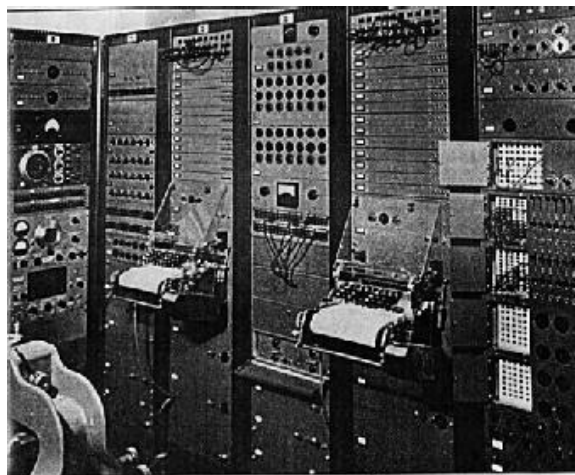


Figura 1: MARKII.

variación de voltaje o mediante procesamiento digital de una señal muestreada como es el caso de los sintetizadores más modernos presentes hoy en día.

Existen distintos tipos de síntesis de sonidos disponibles en el sistema de procesamiento de señal de un sintetizador y estas se clasifican de la siguiente manera:

#### 3.1 Síntesis aditiva

Consiste en la superposición o mezcla de ondas simples para construir ondas complejas. Mantiene su base en el teorema de Fourier donde cualquier tipo de señal puede ser reconstruida mediante una serie de sumas de señales periódicas. Este tipo de síntesis no es tan agradable al oído si se la utiliza sola debido a que si se intenta simular un sonido real es necesario que el espectro de frecuencia también sea dinámico por lo que se puede utilizar en conjunto con otros métodos de síntesis para acercarse a un sonido real.

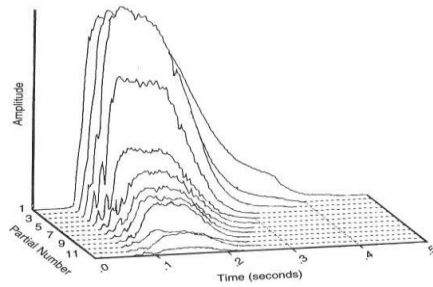


Figura 2: Evolución del espectro de una trompeta normal (espectro dinámico).

### 3.2 Síntesis Sustractiva

Se obtiene mediante la filtración de una onda compleja. La señal pasa a través de un filtro que modifica su contenido armónico, atenuando o reforzando determinadas áreas su espectro. Si se utilizan filtros dinámicos se puede lograr un espectro variable en el tiempo.

### 3.3 Síntesis por modulación.

Consiste en alterar algún parámetro de una onda en razón de otra onda, para producir ondas con espectros complejos. En esta categoría podemos notar dos métodos muy usuales: Modulación de amplitud (AM) y modulación de frecuencia (FM). Ambas se pueden obtener mediante un oscilador de modulación (LFO) adicional en el sintetizador o bien por procesamiento digital de la señal.

### 3.4 Síntesis granular.

Consiste en dividir un sonido en gránulos de sonidos de muy corta duración para manipular uno por uno cada uno de ellos y alterar cualquiera de sus parámetros independientemente.

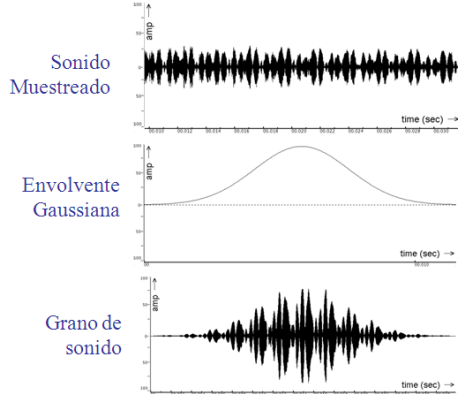


Figura 3: Creación de gránulos.

### 3.5 Síntesis por modelado físico

Se logra modelando un objeto físico con una computadora para que el mismo produzca un sonido acorde a sus cualidades físicas, por ejemplo, una cuerda, un metal, etc.

## 4. VISION GENERAL

El sintetizador dispone de medios muy flexibles para controlar los distintos parámetros de un sonido lo que resulta en una gran facilidad para manipular la onda sonora y muchas posibilidades de sonidos.

La mayoría de los sintetizadores disponibles son similares en cuanto a la forma de generar el sonido, generalmente difieren en el medio de programación para determinar su producción.

Lo más importante a tener en cuenta es que casi todas las unidades fundamentales de generación y procesamiento de sonidos disponibles en los primeros sintetizadores eran controladas por tensión.

### 4.1 Producción de sonido

Un sintetizador consiste de bloques análogos a determinadas funciones de los instrumentos clásicos, un oscilador cumple la función de una cuerda o una lengüeta, etc., los filtros simulan las propiedades de las cámaras resonantes y los VCA junto con los generadores de envolvente, las características dinámicas de la intensidad. A su vez estos bloques pueden ser programados para variar los parámetros del sonido durante su producción.

Generalmente se poseen varios osciladores capaces de ser sintonizados individualmente a cualquier frecuencia mediante una tensión aplicada a su entrada de control.

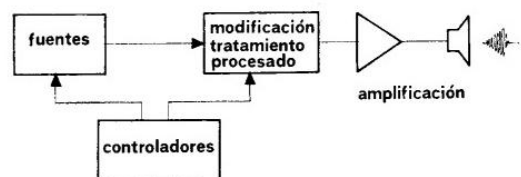
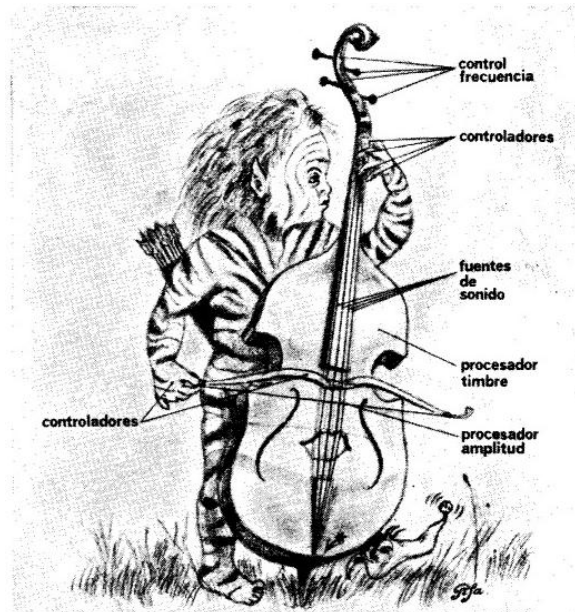


Figura 4: Analogía sintetizador-instrumento convencional.

## 4.2 Diagrama elemental

Cada oscilador que posee el sintetizador puede generar 4 tipos de señales periódicas que luego serán procesadas, cuadrada, sinodal, dientes de sierra o triangular, a su vez un generador de ruido blanco también ingresa al mezclador de audio. El LFO (Osc. de modulación) se encarga de modular las señales producidas por los distintos osciladores, ya sea en amplitud (trémolo) o en frecuencia (vibrato). Luego del mezclador el sonido pasa por una etapa de filtrado controlador por tensión y una etapa de amplificación controlada por tensión, estas dos últimas a su vez son controladas por un ADSR (controlador de Attack-Decay-Sustain-Release) y el sistema entero a su vez por un teclado de control o una computadora programable por el usuario.

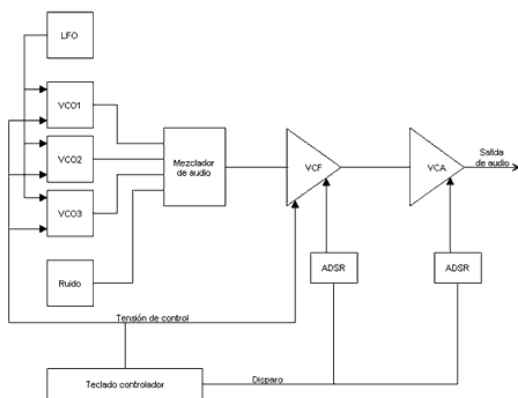


Figura 5: Diagrama de bloques de un sintetizador elemental.

Sin embargo los sistemas más modernos basan su funcionamiento en el procesamiento digital de las señales, por lo cual gran parte de este sistema es reemplazado fácilmente por micro-controladores con periféricos DAC/ADC y osciladores de referencia.

## 5. OSCILADOR CONTROLADO POR TENSIÓN (VCO)

Los osciladores controlados por tensión son las fuentes básicas de sonido en cualquier sintetizador. El valor de la frecuencia de oscilación viene determinado por la suma de tensiones presentes en sus entradas de control. La mayoría posee una respuesta exponencial frecuencia/tensión normalizada a 1V/octava. Pero también se usan los lineales en conjunto con teclados que suministran la tensión de control según ley exponencial mediante algún método de generación digital.

El control de frecuencia se efectúa por dos tendencias. Una es la empleada en sintetizadores tipo MOOG modulares y MINI-MOOG, donde las gamas de frecuencia se seleccionan mediante un conmutador calibrado en pies y mediante un segundo control de variación continua de  $\pm 2$  octavas que efectúa la sintonía fina. La otra tendencia es la de la firma E.M.S. en la que hay un único dial multivuelta que efectúa un barrido continuamente variable en toda la gama del oscilador, usado como mando de sintonía

gruesa y fina. Las gamas de frecuencia de los VCO cubre sobradamente la banda de audio.

Los VCO empleados en esta rama son de gran estabilidad, que hace referencia a la seguridad de permanencia de sintonía. También se introduce la estabilidad térmica, que suele estar entre el 0,1% y 1%.

Suelen sintonizarse en paralelo varios VCO a la misma frecuencia, pero las pequeñas variaciones individuales introducen batidos de frecuencia entre señales, los tonos fundamentales y los armónicos. Este fenómeno brinda una gran riqueza al sonido y es de interés musical.

Existen dos métodos generales empleados de sincronización de frecuencia entre osciladores, donde un oscilador es tomado como maestro o referencia y los demás como esclavos. Un método es el de sincronización brusca, y el otro es el de enclavamiento de fase (phase-locking).

En los osciladores hay disponible en sus salidas diversas formas de onda que corresponden a diversos contenidos armónicos. Además un VCO cualquiera puede ser modulado en frecuencia por otro, produciendo una gama de vibratos, sirenas, trinos y glissandos.

Una configuración práctica y simple de un VCO se muestra en la Figura 6:

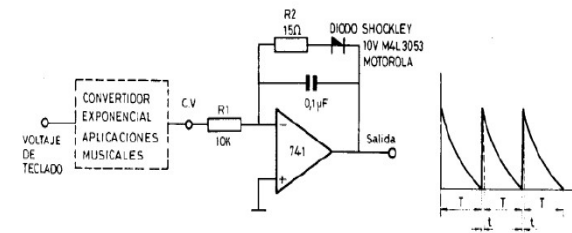


Figura 6: VCO Simple

Cabe destacar que hay varios modelos de circuitos, y este es uno básico. También podemos encontrar circuitos integrados.

## 6. OSCILADOR DE MODULACIÓN (LFO)

Este se dispone como una fuente de control para efectuar las funciones de modificación como vibratos, trémolos, modulación del timbre o controladores de disparo para demás circuitos, obteniendo sonoridades muy variadas. Usualmente se trata de un elemento direccionable, esto es, se puede seleccionar su destino (a qué elemento afectará).

Así, si se utiliza para manipular el oscilador principal, resultará útil para crear efectos de vibrato (alterando la afinación de la onda de manera cíclica) cuando la onda del LFO es senoidal o triangular, o para crear efectos de alternancia entre dos notas (mediante una onda cuadrada). Asimismo, si el sintetizador cuenta con una onda de pulso de ancho variable, también puede usarse el LFO para realizar PWM (modulación de ancho de pulso). Cuando se dirige hacia el amplificador, puede ser útil para generar un efecto de trémolo (alteración cíclica del

volumen). Por último, cuando se usa para afectar cíclicamente el filtro, puede crear un efecto de WHA-WHA.

Estos osciladores se diferencian del VCO en que estos se componen de varios osciladores independientes, controlados por tensión, con varias formas de onda cada uno, que se sitúan en la banda de bajas frecuencias, pudiéndose encontrarse estas en el orden de 0,01 HZ a 20 HZ (por lo que no pueden ser utilizadas como señales de audio) y con un número de formas de onda disponibles suficientemente elevado para que la operación de modular y controlar sea lo más versátil posible.

Generalmente los osciladores de modulación completos deben entregar señales triangulares, senoidales, cuadradas, dientes de sierra ascendentes y descendentes, y rectangulares de simetría variable.

En la actualidad se emplean sistemas digitales para crear dichas señales, siendo cada uno de los osciladores gobernados por un contador controlado a su vez por un microcontrolador.

## 7. GENERADOR DE RUIDOS

Este bloque del sintetizador tiene como función la de proporcionar ruido blanco y rosa, así como una salida de tensión de control aleatoria, pero ajustable en ciertos parámetros. Esta función es muy importante debido a que estas señales son las fuentes básicas a partir de las cuales se sintetizan sonidos de instrumentos que no tienen una frecuencia definida tales como platillos, castañuelas, gongs, percusiones, sonidos no convencionales similares a los naturales, desde lo que podría confundirse con el sonido del viento, hasta el oleaje del mar; o de índole artificial como disparos, explosiones, etc.

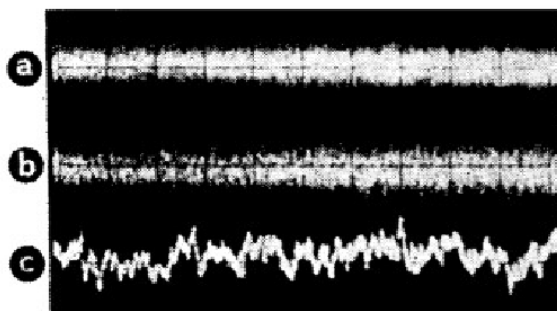


Figura 7: Señales aleatorias visualizadas en un osciloscopio pertenecientes a: (a) ruido blanco, (b) ruido rosa y (c) tensión aleatoria.

En los sistemas de sintetizadores analógicos la generación eléctrica de ruidos está basada en el aprovechamiento de los fenómenos de naturaleza térmica en las resistencias (ruido Johnson) y su cantidad de ruido depende directamente de su valor óhmico. También se puede sacar niveles apreciables de ruido a partir de diodos Zener trabajando en la zona de avalancha. Sin embargo estos ruidos suelen sufrir diversas modificaciones cuando tienen que ser amplificados; es por eso que se recurre a sistemas digitales para la creación de los distintos ruidos.

## 8. MEZCLADOR DE AUDIO

Tal como su nombre lo indica permite la mezcla entre diferentes fuentes de señales con el objeto de obtener una señal compuesta a partir de las mismas; por lo que se pueden crear sonidos de estructuras tímbricas complejas mediante la combinación de otras más simples. También ofrece funciones adicionales como la distribución de grupos de señales de dos o más canales con objeto de efectuar modulaciones de situación, grabaciones multipista o amplificación multicanal.

Los mezcladores de audio convencionales se diferencian de sus pares utilizados en la música electrónica en que estos últimos manejan señales de mayor nivel y generalmente están acoplados directamente con el sintetizador para lograr no solo mezclar señales de audiofrecuencia, sino también tensiones pertenecientes a señales de control.

Asimismo también cumplen otras labores tales como realizar las funciones de un atenuador, de un inversor de polaridad o fase, o como preamplificadores para señales exteriores al sintetizador.

## 9. FILTROS

En música se utilizan como equivalentes eléctricos de los resonadores acústicos en instrumentos musicales u otros objetos físicos, como la caja de resonancia de un violín o de un sitar indio.

Las aplicaciones de los filtros son innumerables. En sí, constituyen la herramienta vital de cualquier sistema de música electrónica, en cuanto al grado de control dinámico que ejerce sobre las propiedades tímbricas de los sonidos sintetizados. Son empleados para simulación instrumental como para creación de sonoridades inéditas y de fantasía.

Las pendientes de los filtros, generalmente entre 18 a 24dB/octava, son los responsables de los cambios de timbre en el sonido sintetizado y que popularmente se conocen como: MEOW-MEOW, WOW, WHA-WHA, etc.

Hay dos configuraciones típicas de filtros: los filtros controlados por tensión (VCF) y los bancos de filtros fijos, llamados también ecualizadores gráficos.

Generalmente los filtros activos empleados poseen redes pasivas RC o LC, donde se emplea con mayor frecuencia los RC por cuestiones de costos.

Para la obtención de VCF hay varios métodos. Se pueden tomar dos alternativas para variar la frecuencia de sintonía de un filtro activo RC, variar R o C, donde este último puede ser mediante el empleo de un varicap.

De todos modos los sistemas se basan más en la variación de R, debido a que las capacidades obtenibles por el método anterior no son adecuadas para su uso en audiofrecuencias.

Puede realizarse resistencias controladas por tensión utilizando la resistencia drenador-surtidor de un FET mediante la variación de la tensión aplicada puerta-surtidor.

Un circuito típico se muestra en la Figura 8:

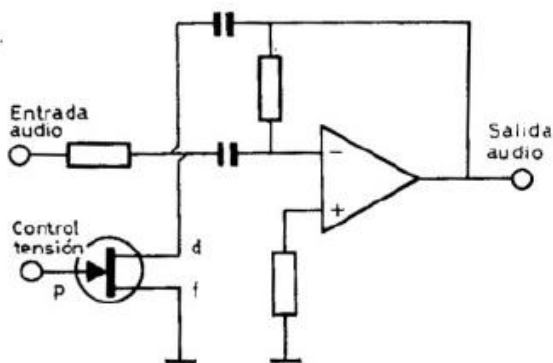


Figura 8: VCF con FET como elemento controlable de tensión

La limitación de este método es la zona de linealidad tensión-resistencia del FET. Existen muchos circuitos como así integrados para la obtención de VCF.

Mediante filtros con control dinámico, controlando los VCF por medio de diversas formas de onda y frecuencia el sonido de alguna fuente, por ejemplo un generador de ruido blanco, se logra producir una gama amplia de sonidos que imitan los jets supersónicos, lluvia, viento y demás sonidos de frecuencia indefinida.

Los bancos de filtros o ecualizadores gráficos proporcionan un medio flexible de confeccionar de forma manual y pre ajustada la estructura armónica de cualquier material audio, mediante la inserción de éste en la línea de señal de audio que se desee modificar. Los cambios en el carácter del sonido son ajustados mediante la variación de ganancia/atenuación de filtros de paso de banda sintonizados a frecuencias fijas y espaciados por octavas o medias octavas entre sí.

En la Figura 9 se puede observar un diagrama en bloques de un ecualizador:

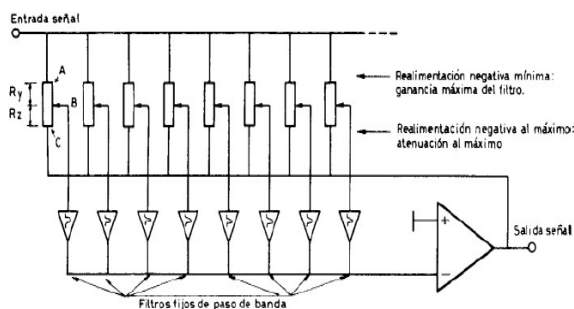


Figura 9: Banco de Filtros

## 10. AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSIÓN (VCA)

Poseen muchas aplicaciones, pero se la utiliza con mayor frecuencia en conjunto con un generador de envolventes para modificar la característica amplitud-tiempo de un sonido de amplitud constante con el fin de conferirles un interés musical. Este conjunto imparte a los sonidos características variables de

ataque-decaimiento de la intensidad, lo que permite la simulación de la dinámica de diversos instrumentos.

El VCA permite en conjunto con osciladores de modulación efectuar modulaciones en amplitud de la señal que se procese.

La ganancia del amplificador controlado por tensión es proporcional a la tensión de control que puede ser lineal o exponencial o ambas.

La Figura 10 muestra la diferencia entre la envolvente lineal y exponencial (para una misma señal). Esto ofrece dos efectos de percepción del sonido totalmente diferentes.



Figura 10: Respuesta de un VCA en modo lineal y exponencial

## 11. GENERADOR DE ENVOLVENTE

Esta parte del sintetizador es de gran importancia dentro del funcionamiento del mismo ya que permite un extenso control de las notas o bien permite modificar las características tímbricas.

Los generadores de envolvente efectúan básicamente la función de producir una secuencia aperiódica especializada, de tensión cambiante, a partir de una orden de ciclo o activación comandada por la circuitería que detecta el cierre de una o más teclas del teclado controlador. En el caso que se requiera que el generador sea activado regularmente por alguna fuente automática de disparo, tal como el oscilador de modulación, la secuencia de tensiones suministradas será de una periodicidad idéntica a la fuente de inicio del ciclo.

Existen 4 tipos de generador de envolvente: ADD (ataque-duración-decaimiento), AR (ataque-relajamiento), AD (ataque-decaimiento) y el ADSR (ataque-decaimiento-sostenimiento-relajamiento); en donde se trata este último por ser el más versátil de los cuatro y el más utilizado en el mercado.

ADSR es el acrónimo de attack (ataque), decay (decaimiento), sustain (sostenimiento), release (relajamiento), y se refiere a cuatro zonas características de la amplitud de una señal de control.

Las zonas ADR se refieren a tiempos, mientras que S se refiere a un nivel. Estos generadores de envolvente permiten controlar tanto la amplitud de la señal sonora como la respuesta del filtro.

El tiempo de Ataque de un sonido sería el tiempo que tarda en "sonar" desde que se pulsa la tecla correspondiente, el Decay (Decaimiento) es el tiempo que tardará el sonido en alcanzar el nivel de sostenimiento (Sustain) y éste a su vez nos indicará el nivel del sonido mientras tenemos la tecla pulsada. El

release (Relajamiento) será el tiempo que tarda en desaparecer el sonido cuando dejamos de pulsar la tecla. En la Figura 11 se puede ver de manera gráfica estas 4 secciones.

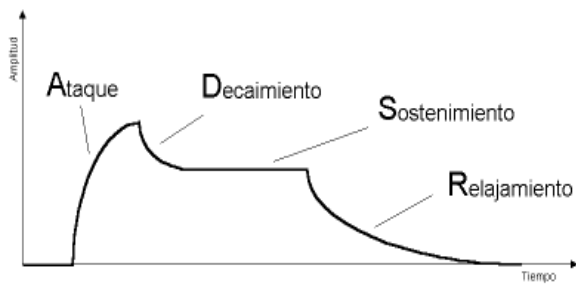


Figura 11: Curva de envolvente de un ADSR.

La combinación de un generador ADSR y un VCA provocan en los sonidos modificaciones en determinadas características de ataque y decaimiento en su intensidad, de modo que permite la simulación de diversos instrumentos, por ejemplo, emular el comportamiento dinámico de los instrumentos acústicos, o bien crear dinámicas totalmente nuevas. También es posible modular en amplitud la señal que se procesa para añadir trémolos y otros efectos que dependerán mucho de la frecuencia de la señal moduladora.

Además los generadores de envolvente no se limitan a controlar la amplitud de la señal; también puede controlar la subida y la caída de la frecuencia de corte del filtro o modular otros parámetros. En otras palabras, los generadores de envolvente puede ser utilizada como fuente de modulación, o como un "control remoto" para un parámetro dado, si lo prefiere.

## 12. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el funcionamiento estructurado y básico de un sintetizador, abordando también la evolución histórica en su corto período de existencia en el mundo de la electrónica.

Se presentan y analizan características básicas a tener en cuenta al incurrir en la obtención de sonidos sintéticos sin importar el método que se quiera emplear, o si se lo quisiera realizar mediante software.

Se identificó cuales son las bases en las que se fundan los antiguos y modernos sintetizadores, muchos de los cuales hoy trabajan mediante el empleo de la PC.

## 13. REFERENCIAS

- [1] Bermudez Costa, Juan, "*Nueva generación de instrumentos electrónicos*". Primera edición año 1977. Editorial Marcombo.
- [2] Emilia Gómez Gutiérrez: "*Síntesis Aditiva*". Publicación del Departamento de Sonología, Escuela Superior de Música de Catalunya. emilia.gomez@esmuc.cat. Junio 2009.

[3] Gaspar Vidal Reynés. "*El sintetizador*". Publicación en Aula actual, escuela de música online. <http://www.aulaactual.com/especiales/sintetizador/sintetizador.htm>. Año 2000.

[4] Wikipedia, enciclopedia online. *Synthesizer*. [http://en.wikipedia.org/wiki/ADSR\\_envelope#ADSR\\_envelope](http://en.wikipedia.org/wiki/ADSR_envelope#ADSR_envelope)

[5] Apple Inc, Apéndice: "*Synthesizer Basics*". "Logic Studio Instruments". Año 2000.

[6] David Martínez Zorrilla: "*Sintetizadores: una breve introducción*". Publicación propia en [www.lulu.com](http://www.lulu.com). Julio 2008.

[7] Paco Benages: "*Los sintetizadores y la síntesis del sonido*". Publicación en la revista MP audio. Año 2004.

## 14. DATOS BIOGRÁFICOS

**Cristian Luna**, nacido en Ushuaia el 15/11/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente se encuentra cursando 6to año de la correspondiente carrera.

E-mail: 51681@electrónica.frc.utn.edu.ar

**Ignacio Bevacqua**, nacido en la ciudad de Merlo, provincia de Bs. As., el 14/08/1987. Tres años después su familia se mudó a Bariloche donde curso la escuela primaria y secundaria. Se mudó a Córdoba para ingresar en la UTN en el 2006. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente se encuentra cursando 6to y preparando su tesis.

E-mail: 51832@electrónica.frc.utn.edu.ar

**Nicolás Salvay**, nacido en Córdoba el 02/10/1987. Terminó sus estudios secundarios en el Colegio Parroquial San Francisco de Asís. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente se encuentra cursando 6to año de la carrera.

E-mail: 52003@electrónica.frc.utn.edu.ar