

# Título original: An Overview of FM synthesis

Autor: Matt Gregory web: <http://the-all.org/tx81z/index.html>

Traducción: abird email: [abird\\_music@ono.com](mailto:abird_music@ono.com)

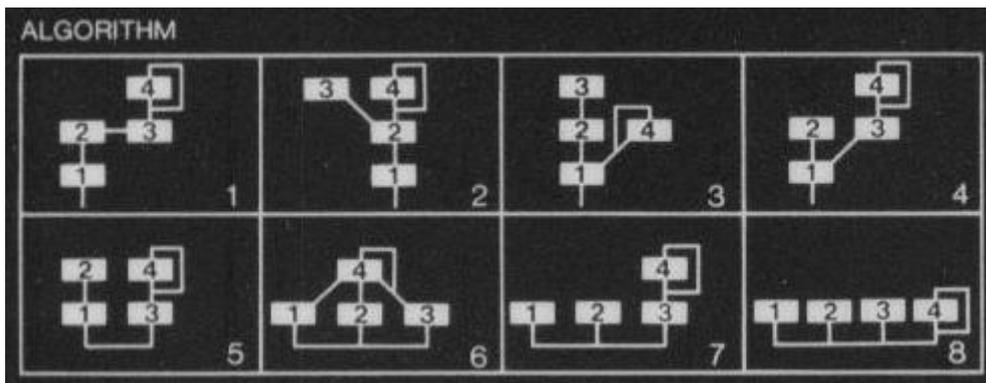
## Introducción: La Teoría de la Síntesis FM

Todo en la naturaleza es un “continuum”, pero hay ciertos umbrales a partir de los cuales todo cambia radicalmente cuando son cruzados. Piensa en el agua y su relación con el “continuum” de la temperatura. Cuando el agua llega a 100 grados centígrados, se transforma en un cuerpo gaseoso, que es muy diferente de su estado líquido habitual. Ese mismo tipo de umbrales drásticos, existen en el mundo del sonido y el ***principio de la Síntesis FM fue descubierto por John Chowning*** cuando atravesó uno de esos umbrales y se percató de que un cambio radical había sucedido. ***El “continuum” con el que estaba trabajando era la velocidad del vibrato*** (i.e. frecuencia de modulación).

Si tomamos un sonido y modulamos su altura con un oscilador a una frecuencia baja, podrás oír el sonido subir y bajar en altura como una sirena de policía. Según subes la frecuencia del oscilador, el sonido se convierte en vibrato. Si sigues incrementando la velocidad, el sonido va haciéndose más vibrante e intenso, casi distorsionado, desapareciendo la sensación de vibrato. Si aún continúas incrementando la velocidad el sonido empezará a duplicarse en otras frecuencias que se van alejando paulatinamente de la original mientras la velocidad de vibrato crece. Cuando la frecuencia del vibrato alcanza la frecuencia del sonido modulado, el sonido se equilibra armónicamente creando un nuevo timbre. Si aún se continúa incrementando la profundidad del vibrato, se crearán más duplicaciones del sonido, incrementando su complejidad armónica y tímbrica. Básicamente, de esto trata la FM.

## Operadores y Algoritmos

En la línea DX de Yamaha, los osciladores son llamados “operadores”. En el TX81Z hay cuatro de estos y pueden ser ruteados de ocho maneras diferentes. ***A estos ruteos específicos entre operadores, los llamamos algoritmos. A los operadores ruteados directamente a la salida de audio los llamamos “portadores”. A los operadores que se rutean a otros operadores, actuando sobre ellos, los llamamos “moduladores”.***



Los pequeños rectángulos blancos representan los operadores. Los operadores abajo del todo en cada algoritmo son los portadores. Los algoritmos del 5 al 8 tienen múltiples portadores, actuando como sonidos independientes que son mezclados finalmente como si de síntesis aditiva se tratase.

Los operadores por encima de los portadores son los moduladores. Los moduladores se llaman así porque “modulan” (afectan, intervienen, cambian) el sonido del portador al cual van conectados. En otras palabras, el OUT de un modulador se rutea directamente a la frecuencia del portador. El nivel de ese OUT (frecuencia de modulación) determina cuanto y de qué manera cambiará el sonido del portador. Sin embargo, el OUT de un portador determina el volumen del sonido únicamente. Veamos ahora una serie de prácticas que aclararán estos y otros conceptos.

## Empezando un sonido nuevo (Init Voice)

En la terminología Yamaha, un sonido, preset, patch o program (así llamados en otras terminologías) se denomina “voice”. Seguiremos aquí una serie de experimentos para observar cómo funciona la FM. Pon tu unidad TX81Z en modo single pulsando el botón PLAY/PERFORM hasta que aparezca el mensaje “PLAY SINGLE”.



Pulsa ahora el botón UTILITY para entrar en dicho modo y usa los botones de navegación PARAMETER hasta llegar al comando “Init Voice”. Pulsa el botón INC para decir si.



Vuelve a pulsarlo para confirmar y entrar definitivamente en el modo de edición.

```
UT INIT VOICE
Are you sure?
```

## FM Simple: Una Portadora y una Moduladora

El primer paso para diseñar un nuevo sonido es elegir el algoritmo adecuado. Es bueno tener en mente el papel que desempeña cada operador, si es modulador o portador, de tal modo que podamos predecir los cambios que sobrevendrán al sonido antes de ponernos a hacerlo. Cuanto más se familiarice uno con la FM, más en condiciones estará de ponerse manos a la obra con un plan determinado, no al azar.

Empecemos pues eligiendo el algoritmo 1

```
e1111
ALG=1 4→3→2→1→
```

**El algoritmo 1 tiene un portador y tres moduladores en serie.** El operador 4 modula el 3, este modula al 2 y finalmente el dos modula al 1. **A dos o más moduladores dispuestos en serie se les denomina también “en cascada”.** En realidad lo que ocurre es que el modulador 4 modula al 3, el resultado de eso modula al 2 y el resultado de todas esas modulaciones modulan finalmente al único portador.

Por el momento vamos a experimentar con un portador y un modulador nada más, para lo que utilizaremos los operadores 1 y 2. Lo primero que haremos será ajustar los niveles out. “Init Voice” tiene por defecto 90 para el operador 1 y 0 para todos los demás.

```
e1111 1 2 3 4
OUT 90 0 0 0
```

Puesto que el operador 1 es un portador el nivel de salida (OUT) ajusta el volumen del operador 1 y como además es el único portador en este caso, ajusta el volumen general del sonido.

Por otro lado, el nivel de salida del operador 2, que es un modulador, ajusta el nivel de modulación de frecuencia que se aplica al portador 1. En otras palabras ajusta cómo y cuánto el operador 2 va a modificar el sonido del operador 1.

Subamos el nivel del operador 2. Fíjate que si presionas una tecla de tu teclado maestro mientras vas cambiando el nivel de salida, no podrás apreciar el

cambio hasta volver a tocar otra tecla. Vamos, que tendrás que ir tocando la tecla conforme vas modificando el nivel del operador 2 para ver cómo va afectando el cambio al operador 1.

```
e1111 1 2 3 4
OUT 90 99 0 0
```

En realidad los cambios son poco apreciables hasta que no llegas al nivel 45 más o menos. Si alcanzas el nivel máximo 99, el sonido transforma la onda de seno original en algo así como un sonido de oboe áspero. Lo que hemos hecho es aumentar la complejidad armónica del sonido original del operador 1 con el operador 2, volviéndolo mucho más brillante y cambiándole el carácter.

Ahora, hagamos lo mismo con el operador, bajando su nivel de salida mientras mantenemos una tecla presionada.

```
e1111 1 2 3 4
OUT 0 99 0 0
```

Aunque el operador 2 está a nivel máximo de 99, no hace ningún sonido por sí mismo ya que es un modulador y no un portador.

Volvamos al estado anterior de cosas, subiendo el nivel del operador 1 a 90 y dejando el 2 en 75 (¡no es necesario martirizarse los oídos!).

```
e1111 1 2 3 4
OUT 90 75 0 0
```

Bueno, parece un sonido aceptable ¿no? Como recordando a un órgano. Vamos a entrar en el submenú de edición de frecuencia a probar algunos parámetros.

```
e1111 ALG1
Edit Frequency?
```

Pulsa el botón INC para editar los parámetros.

```
e1111 FREQ. OP1
CRS(RATIO)= 1.00
```

**La frecuencia de un operador puede ser configurada de dos formas: “fixed” o “ratio”.** En modo fijo tendremos un mismo sonido independientemente de la tecla que toquemos en nuestro teclado. En el modo “ratio” se toma la frecuencia de la nota tocada multiplicándose por el valor de la ratio que hayas elegido.

**El modo ratio es el más común y utilizado, ya que es más musical que el modo fixed. Este último es empleado para efectos FX y cosas en esa onda.** Ahora configuraremos el modo fixed en el operador 2. Lleva el cursor a donde pone RATIO y pulsa el botón INC.

```
e11111 FREQ. OP2  
CRS(FIX)= 16Hz
```

Pon la frecuencia al valor más bajo, que es 8 Hz. Y escucha el sonido.

```
e11111 FREQ. OP2  
CRS(FIX)= 8Hz
```

¿Qué te dije? El efecto del operador 2 sobre el 1 es vibrato. Puedes ajustar la profundidad del vibrato cambiando el nivel de salida del operador 2. Cuando termines de experimentar vuelve al valor de 75 para continuar el tutorial.

Bien, solo quería mostrarte esto porque me parecía una buena presentación para entender la FM. Volvamos el operador 2 a modo ratio y escuchemos. Tu LCD mostrará lo siguiente:

```
e11111 FREQ. OP2  
CRS(RATIO)= 0.50
```

```
e11111 FREQ. OP2  
CRS(RATIO)= 1.00
```

```
e11111 FREQ. OP2  
CRS(RATIO)= 2.00
```

Escucha el sonido y cambia la ratio a valor 1. Suena como una octava alta ¿no es así? Vuelve ahora a cambiarlo a valor 2.

¡Vaya! El tono ahora no ha subido una octava pero se ha transformado en algo así como una onda cuadrada. Esto es así porque estás cambiando la anchura del espectro armónico. Al aumentar la frecuencia del operador 2, la distancia entre los diferentes armónicos se incrementa de tal modo que cambia el timbre del sonido, haciéndolo más brillante conforme aumentas los valores de frecuencia.

¿Por qué no ha cambiado el sonido de la misma manera cuando hemos ensanchado el espectro las dos veces? En realidad es porque nuestra percepción aural no interpreta el sonido del mismo modo. Nuestra percepción gusta de hacer grandes distinciones entre sonidos, de tal modo que sonidos con diferente espectro armónico son apreciados como totalmente diferentes. Esta propiedad de nuestra percepción es lo que hace de la programación FM un verdadero desafío al tiempo que nos proporciona la oportunidad única de ir afinando nuestros oídos en la diferenciación de diferentes sonidos.

De cualquier modo, volvamos al operador 1 y cambiemos su ratio a 2.00.

```
e11111 FREQ. OP1
CRS(RATIO)= 2.00
```

Ahora el sonido ha perdido su carácter de onda cuadrada y estamos otra vez en el original sólo que una octava alta. Esto indica que **el color del sonido está determinado por las proporciones relativas entre las ratios de los operadores** y que cambiando las frecuencias manteniendo las proporciones entre las ratios nos llevará a subir o bajar de tono pero sin cambiar el timbre. Así, por ejemplo, si tenemos dos operadores con ratios de 1.00 modulando 2.00 y queremos subir una octava, tendríamos que cambiar a 2.00 modulando 4.00. La siguiente octava sería 4.00 modulando 8.00 y así sucesivamente.

Veamos este principio con un ejemplo. Pon la ratio del operador 1 a 1.00 para volver al sonido de onda cuadrada.

```
e11111 FREQ. OP1 e11111 FREQ. OP2
CRS(RATIO)= 1.00 CRS(RATIO)= 2.00
```

Toca algunas notas y divide a la mitad ambos operadores:

```
e11111 FREQ. OP1 e11111 FREQ. OP2
CRS(RATIO)= 0.50 CRS(RATIO)= 1.00
```

El sonido ha bajado una octava.

## FM Compleja: Moduladores en cascada

Cuando empezamos a **trabajar con más de un modulador entramos en el terreno de la FM Compleja y eso es que la hace un modo de síntesis tan interesante**. Cuando dos o más moduladores van a un mismo portador, interactúan entre ellos de tal modo que el espectro producido puede resultar extremadamente complejo.

Antes de continuar, volvamos a poner el operador 1 en 1.00 de ratio, de tal modo que todos tengan esa misma ratio.

```
e11111 FREQ. OP1
CRS(RATIO)= 1.00
```

En el algoritmo 1 los operadores están conectados en cascada, de tal modo que el operador 3 modula al 2 y el resultado de esto modula el 1. En otras palabras, los operadores 2 y 3 van a crear una onda compleja que va a ser la que module al operador 1. Bien, ahora sube lentamente el nivel de salida del operador 3 del mismo modo que hicimos con el 2 hasta llegar a 99.

```
e1111 1 2 3 4
OUT 90 75 99 0
```

Esta configuración crea un bonito sonido disonante. Si lo tocas a lo largo del teclado, parece que aparecen frecuencias aleatorias. Lo que está ocurriendo es que algunos de los armónicos generados son tan agudos que están superando el límite de frecuencias agudas que el TX81Z es capaz de reproducir. Este límite es la mitad de la llamada "sampling rate" (frecuencia de muestreo). **Cuando un armónico excede este límite, es como si "rebotara" en él y como ese límite es una frecuencia fija normalmente hace que el armónico se torne disonante al "volver" al rango válido de frecuencias. Esta reflexión es conocida con el nombre de "aliasing".**

Para remediarlo, bajemos el nivel de salida del operador 3 a 75.

```
e1111 1 2 3 4
OUT 90 75 75 0
```

Bueno, no está mal ¿no? Es un sonido con reminiscencias de órgano/viento madera...suena como...suena justo como el operador 1 modulado por los 2 y 3 a un nivel de salida de 75. ¡La expresividad de la FM es verdaderamente asombrosa!

Volvamos a nuestra onda cuadrada poniendo la ratio del operador 2 en 2.00 de nuevo.

```
e1111 FREQ. OP2
CRS(RATIO)= 2.00
```

¡Vaya! Parece que no suena mucho a onda cuadrada. Parece como si el operador 3 hubiera alterado la naturaleza del sonido creado por la combinación de los operadores 1 y 2, cambiándolo a algo muy diferente. Veamos que ocurre cuando cambiamos la ratio del operador 3 a 2.00.

```
e1111 FREQ. OP3
CRS(RATIO)= 2.00
```

Bueno, hemos vuelto a nuestra onda cuadrada con ambos moduladores a 2.00. Me gustaría saber qué ocurriría si sólo el operador 3 tuviera ratio 2.00 y los otros dos a 1.00.

```
e1111 FREQ. OP2
CRS(RATIO)= 1.00
```

Tiene un vago timbre de onda cuadrada pero suena más punzante. En todo caso, difícil de describir. Sigamos adelante y cambiemos el operador 1 a 0.50. Hagamos una pequeña “escalera” con las ratios.

```
e1111 FREQ. OP1
CRS(RATIO)= 0.50
```

Estamos otra vez con sabor a onda cuadrada, aunque mantiene el carácter punzante.

***Como puedes observar, las interacciones entre las ratios de los operadores en cascada son complejas. Un pequeño cambio en uno de los moduladores nos puede llevar a un sonido radicalmente distinto.***

## FM Compleja: Moduladores en paralelo

Ahora que hemos trabajado un algoritmo en cascada, veamos cómo funciona uno en paralelo. El algoritmo 4 nos presenta a los operadores 2 y 3 modulando al operador 1 en paralelo. Selecciónalo y escucha el resultado.

```
e1111 4→3y
ALG=4 2→1→
```

Para empezar, ***los operadores en paralelo no producen tanta complejidad como los de cascada, siendo el sonido menos punzante.***

Los moduladores en paralelo actúan independientemente uno de otro, de tal modo que son más flexibles, especialmente en lo relacionado a sus “envelopes” (envolventes). Si tres operadores están conectados en cascada, el modulador intermedio necesita dejar cierto espacio para oír al modulador primero, de tal modo que es importante tener esto en cuenta a la hora de configurar las envolventes. La envolvente del modulador primero (el operador 3 e neste caso) tiene que “estar contenida” dentro de las envolventes de los demás operadores por debajo de él. De otro modo no podrás escucharlo bien y eso, si lo escuchas. Los moduladores en paralelo no tienen este problema pero, desde luego, también suenan diferentes.

Los moduladores en paralelo tienen otra propiedad que me gustaría mostrar. Las ratios de frecuencias deberían estar dispuestas así:

```
e1111 FREQ. OP1 e1111 FREQ. OP2 e1111 FREQ. OP3
CRS(RATIO)= 0.50 CRS(RATIO)= 1.00 CRS(RATIO)= 2.00
```

Invirtamos las ratios de los operadores 2 y 3 sólo por ver cómo suenan.

e1111	FREQ.	OP1	e1111	FREQ.	OP2	e1111	FREQ.	OP3
CRS(RATIO)=	0.50		CRS(RATIO)=	2.00		CRS(RATIO)=	1.00	

¡Suenan igual! El orden de los factores no altera el producto. No importa cuál sea su orden porque están siendo mezclados como señales de audio regulares antes de modular el operador portador. Es sólo cuando están dispuestos en cascada que su orden afecta a la resultante.

Hay una última propiedad que desearía explicar relativa a la mezcla pasiva de moduladores en paralelo. Cuando dos sonidos son idénticos, es cuando los dos moduladores tienen los mismos parámetros ¿qué le ocurre al sonido resultante? La respuesta es que los dos moduladores se hacen indistinguibles, sonando como uno solo pero a más alto volumen.

## Creando un sonido de bajo

Estoy seguro de que probablemente has tenido suficiente teoría por el momento. Pondremos ahora nuestros conocimientos en práctica para programar un sonido de bajo simple. El sonido de bajo es uno de los más fáciles de programar y lo único que realmente necesitamos es ajustar la envolvente para darle un ataque contundente y permitirle una caída adecuada cuando soltemos la tecla.

Empecemos dándole un ataque poderoso. Entremos al menú de edición de las envolventes:

e1111	ALG?				
Edit	EG?				

Pulsa el botón INC hasta llegar a:

e1111	1	2	3	4
AR	31	31	31	31

Aquí es donde se muestran los valores de ataque de todos los operadores, aunque como vemos, están todos enmascarados al superponerse con los mismos valores y por lo tanto no podemos apreciar ningún tipo de matiz. Queremos algo que tenga pegada y aunque un ataque corto o instantáneo es un factor importante, es por sí mismo insuficiente para hacer un sonido “punchy”.

Uno de los elementos decisivos para conseguir un sonido con pegada es hacerlo decaer (decay) rápidamente. **La “pegada” es más una cuestión de percepción que una propiedad intrínseca de un sonido y dándole un**

**valor de caída rápido hará que el ataque aparezca como si sonara antes. No es más que una de esas ilusiones perceptivas.**

Así que cambiaremos el valor de la caída del sonido para hacerla realmente rápida. Habiendo dos valores de caída D1R y D2R la cuestión es ¿Cuál debemos de programar?

e1111	1	2	3	4	e1111	1	2	3	4
D1R	31	31	31	31	D2R	0	0	0	0

El sonido que tenemos es básicamente de tipo órgano, con un ataque rápido cuando pulsas la tecla, manteniéndose hasta que levantas el dedo, por lo que no tiene caída ninguna. Los parámetros de D2R son todos cero por lo que posiblemente, esta sea la razón por la que el sonido nunca decae. Es pues D2R el parámetro a editar. El sonido al completo está finalmente soportado por la envolvente del operador 1 así que subiremos su valor y veremos como suena.

e1111	1	2	3	4
D2R	10	0	0	0

Lo que hemos conseguido con poner el valor de caída 10 en el operador 1 (el portador) es crear un sonido que básicamente se va apagando. Su cualidad tonal no cambia mientras decae y eso le da esa cualidad real de sonido sintético, pero **el verdadero poder de la FM está en las múltiples maneras en las que puedes cambiar dinámicamente el color del sonido**. Creo que he insistido bastante en que la cualidad de cambiar el color o timbre reside en los moduladores.

Como estamos haciendo un sonido de bajo, tomemos ese operador 2 con su ratio de 2.00 y hagámosle decaer realmente rápido, de tal modo que eliminemos lo antes posible las zonas altas de frecuencias. ¿Qué tal un valor de 18?

e1111	1	2	3	4
D2R	10	18	0	0

Si apuramos más allá empezamos a oír un clic pero, como queremos máxima pegada, no parece que aquí los sonidos tipo clic nos favorezcan. El operador 2 está creando un montón de color aquí y como su frecuencia es bastante diferente de la del portador, el permitir que se oiga dinámicamente creará un gran contraste, lo que es excelente para los sonidos poderosos.

Vayamos ahora al operador 3. Su valor está en 1.00, justo en medio de los valores de los operadores 1 y 3, que son 0.50 y 2.00 respectivamente. Sigamos la pista y pongamos un valor también intermedio en la caída de la envolvente.

e1111	1	2	3	4
D2R	10	18	14	0

¿Cómo os parece que suena? ***Su carácter de onda cuadrada le da ese toque de sonido hueco, cavernoso y profundo tan típico de esta onda (recuerda el clarinete, por ejemplo).*** Creo que lo llamaré HollowBass (BajoHueco). El sonido está listo para descargar en formato sysex desde la página web <http://the-all.org/tx81z/index.html> del autor de este artículo, Matt Gregory, exclusivamente dedicada al Yamaha TX81Z, con artículos más que interesantes. Siguiendo la ruta <http://the-all.org/tx81z/patches/HollowBass.syx> puedes descargar el patch directamente.

El patch en cuestión es una especie de boceto alrededor de los ejes importantes, así que espero que puedas experimentar con el, editando diferentes parámetros. Cosas que puedes probar son bajar el tiempo de decay para librarte del clic, o experimentar con las frecuencias, formas de onda y/o niveles de salida de los diferentes operadores. Si te sientes con ganas de aventura, puedes incluso tratar con el operador 4, al cual no hemos presentado aquí.

¡Ojo! Eso puede ser peligroso, trata de no herir a nadie.