

Manual preliminar del sintetizador de voz HR4

Válido para la versión: 1.0 Beta 11, del 12-Sep-2013

Actualizado: 01-Oct-2013

Desarrollo y documentación: Jorge Castillo (pastbytes)

Email: info@pastbytes.com

1 - Introducción

Este sintetizador de voz está basado en un conjunto reducido de fonemas del castellano, diseñado en principio para su uso en Argentina, por lo que faltan algunos sonidos usados en otros países. Se eliminaron letras redundantes como la Q, que debe ser reemplazada por K, la C, reemplazada por K o S según el caso, la V, reemplazada por B, la W, reemplazada por U, la X por KS, la Y por I, y la Z por S. Se conservaron letras como C y H solamente para formar los fonemas CH y SH. También se distinguen los dos sonidos de la R, fuerte y suave, y la G representa solamente su sonido característico, reemplazándose el otro por J.

En total se dispone de 21 fonemas, más 2 modos de acentuación para las vocales, pausas de varias duraciones y comandos de configuración y sonido.

El sintetizador recibe la información del usuario en ASCII, usando una codificación que puede variar entre 1 y 3 caracteres por sonido. El programa está diseñado para facilitar su uso desde un programa emulador de terminal, emitiendo sonido apenas recibe un comando válido, esto es, una secuencia de caracteres válida que represente un comando o sonido.

No se hace distinción de mayúsculas y minúsculas ya que esto dificultaría su uso en algunas computadoras de 8 bits, los dos modos son aceptados indistintamente, y por la misma razón el programa devuelve el carácter exacto que recibe, siempre que sea válido.

Los caracteres válidos son: **A E I O U B C D F G H J K L M N P R S T**
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 + - ' _ , ; . / () = ! >

También es válido el carácter **espacio** (ASCII 32 decimal, 20 hexadecimal).

Los caracteres de retorno de carro y avance de línea se consideran válidos y se retornan sin cambios aunque no tienen ningún efecto en el sintetizador.

Cualquier otro carácter distinto recibido se considera inválido y se devuelve como *.

Nota: Si está habilitado el eco, el programa devuelve cada carácter apenas recibido, sin importar su validez o si aún se está procesando caracteres anteriores, por lo cual el equipo controlador puede verificar rápidamente si hay problemas en la comunicación.

2 - Comandos permitidos

Como dijimos, se considera un comando a una secuencia de caracteres ASCII que representa a un comando interno, no necesariamente un fonema.

Algunos fonemas agregan una pausa inicial para separarlos del sonido que los precede, si se está usando estos fonemas en el inicio de una palabra, donde probablemente ya tengamos una pausa previa entre palabras, se puede usar las versiones terminadas en **1**, que eliminan esta pausa.

Los caracteres **+** y **-** se utilizan para dar entonación a las sílabas por medio de las vocales, si se agrega un **+** luego de una vocal se obtiene un tono mayor como el que da un acento, mientras que agregando un **-** a continuación de la vocal se logra un tono menor como al finalizar una oración.

Esto también puede utilizarse como efecto para lograr algunas tonadas regionales.

Se dispone también de varios silencios de duración predeterminada, y uno de duración variable, que pueden usarse para darle más naturalidad al habla.

El sintetizador puede trabajar en dos modos distintos: el modo directo y el modo de configuración.

El modo directo es el modo normal de operación, donde se envían los comandos de voz y los comandos extendidos, el modo de configuración sirve para ajustar varios parámetros de la voz y el sonido, y es accesible a través de comandos.

2.1 - Comandos de configuración

El sintetizador genera voz con un método híbrido, en parte con sonido almacenado y en parte con sonidos generados por programa. El sonido se emite a una frecuencia de muestreo constante de 8680 Hz y con una resolución de 8 bits.

El tono original de la voz se corresponde con la frecuencia de la nota C3 (nota Do de la octava 3), pero es posible alterar esto mediante comandos de configuración, en un rango que va desde C0 hasta C6, aunque en la práctica es usable entre C1 y C4 si se quiere conservar la inteligibilidad.

La voz se forma mediante dos ondas configurables de forma independiente, la onda base es la que contiene las formantes, la que define el tipo de voz de una persona. La segunda onda es una envolvente que modula en amplitud a la onda base, y define la nota musical a la que sale la voz.

Para cantar, basta con dejar fija la frecuencia de la onda base y alterar la nota de la envolvente.

Ya que el tono original es C3, esta voz se obtiene ajustando la onda base y la envolvente a la nota C3. Por defecto ese es el valor de la onda base, y la nota de la envolvente se ajusta en C2.

La nota de la envolvente define directamente la nota musical a la que sale el sonido, pero la nota de la onda base debe tomarse como una referencia con respecto a la voz original en C3, es decir por ejemplo que si se quiere bajar una octava al tipo de voz se debe ajustar la onda base a C2, mientras que si se quiere aumentar una octava se debe ajustar a C4.

También es posible ajustar la duración de los fonemas, especificándola en la cantidad de ciclos de la onda a emitir. Hay que tener en cuenta que la duración real dependerá de la nota de la envolvente, ya que 2 ciclos en la nota C3 durarán la mitad de tiempo que 2 ciclos en la nota C2, por ser la frecuencia exactamente el doble.

Se puede ajustar el volumen general del sonido, en un rango de 0 a 15.

El sintetizador dispone de un generador de ruido y 4 instrumentos musicales que son afectados por 3 comandos especiales, el primero define si se le aplicará una envolvente al sonido, y de ser así, cual de los dos rangos de duración se usará, y si la envolvente será repetitiva o sólo ejecutará un ciclo. El segundo selecciona una de 4 envolventes que se aplicará al habilitar la modulación, y el tercero permite cargar a la memoria RAM del sintetizador una onda, la que será asignada al instrumento 4.

Estos 7 comandos de configuración del sonido sólo pueden enviarse entrando al modo de configuración, de lo contrario serán ignorados. Para entrar a este modo, se debe enviar el comando (el cual una vez recibido cambia el modo del sintetizador hasta recibir un comando).

Los comandos de configuración son los siguientes:

- Zon** donde al comando **Z** le siguen dos dígitos, el primero indica la octava, de 0 a 6. El segundo indica el número de semitono (nota), de 0 a B (en hexadecimal). Este comando modifica la nota de la onda base (el tipo de voz), y también la duración del ciclo de la envolvente, cuando se aplica a instrumentos musicales.
- Non** donde al comando **N** le siguen dos dígitos, el primero indica la octava, de 0 a 6. El segundo indica el número de semitono (nota), de 0 a B (en hexadecimal). Este comando modifica la nota musical a la que se emite la voz.
- Cxx** donde al comando **C** le siguen dos dígitos en hexadecimal, indicando la cantidad de ciclos de duración de los fonemas, entre 00 y FF.
- Vx** donde al comando **V** le sigue un dígito en hexadecimal, indicando el volumen del sonido, de 0 a F.
- Mx** donde al comando **M** le sigue un dígito, indicando el modo de modulación del sonido en los instrumentos musicales (**/3** y **/4**).
- Ex** donde al comando **E** le sigue un dígito, indicando el número de envolvente a utilizar para modular el sonido de los instrumentos musicales.
- I** donde al comando **I** le siguen 66 pares de dígitos hexadecimales, que representan 66 bytes que definen una onda.

Ejemplo:

La voz por defecto se configura en el arranque de esta manera:

(Z30N20C06VF) Base en C3, Nota en C2, Duración de 6 ciclos, Volumen 15

2.2 - Comandos extendidos

Existen otros comandos disponibles en modo directo que sirven para generar distintos sonidos, y son precedidos por el carácter *I*.

Tres de estos comandos generan sonidos predefinidos:

- /0** Emite un tono de frecuencia, duración y volumen fijos
- /1** Emite un tono de frecuencia y duración fijos, y volumen decreciente
- /2** Emite un sonido de alarma/error

Otros 5 comandos extendidos corresponden a instrumentos musicales:

- /3** Emite ruido al ritmo de la nota actual, siendo válidas las notas de C0 a C3.
- /4** Emite una onda de bajo.
- /5** Emite una onda de órgano.
- /6** Emite una onda de guitarra eléctrica.
- /7** Emite una onda del instrumento en RAM, definido por el usuario.

Estos 5 instrumentos operan de manera similar, siendo afectados por la nota (**N**) y duración (**C**) actuales, el modo de modulación (**M**) y la envolvente seleccionada (**E**).

También existe un comando, que si bien no entra directamente en la categoría de comando extendido, ya que no va precedido por *I*, su función es repetir el último instrumento ejecutado, esto es, el último comando reproducido que pertenezca al grupo **/3 a /7**. Este comando funciona como una continuación del último instrumento, se invoca con el carácter **=**, y tiene la particularidad de que conserva el estado de modulación de la última ejecución de instrumento. La utilidad de este comando se verá cuando se traten las envolventes y los modos de modulación, pero básicamente sirve para extender la duración de un instrumento continuando el desarrollo de la envolvente, es decir sin reiniciar la envolvente en la nueva ejecución.

3 - Funcionamiento interno del sintetizador

Al arrancar, el sintetizador emite un mensaje hablado y envía por la salida RS232 un texto indicando la versión del programa. Es posible deshabilitar ambos mensajes colocando a 1 la entrada JP3, esto es particularmente útil en el caso de querer integrar el sintetizador a otro proyecto, mientras que colocando a 0 esta entrada se emitirán los mensajes cada vez que arranque. Esta entrada sólo se lee durante el arranque.

Si se desea usar el sintetizador desde una terminal, puede ser útil habilitar la función de eco, colocando a 0 la entrada JP2, con lo cual se devolverá cada carácter recibido y se podrá ver en pantalla lo que se va tipeando. Si por el contrario se usará el sintetizador desde un microcontrolador o procesador, se podrá colocar esta entrada a 1, y se evitará que se llene el buffer de entrada del host con el eco. Esta entrada se verifica constantemente, por lo que se puede activar el eco temporalmente y luego volver a desactivarlo.

En la comunicación serie se puede optar por 4 velocidades: 1200, 9600, 19200 y 57600 bps. Es posible configurarlas mediante las entradas JP0 y JP1, según la siguiente tabla:

Tabla 1 - Configuración de velocidad del puerto serie

JP1	JP0	VELOCIDAD
0	0	1200 bps
0	1	9600 bps
1	0	19200 bps
1	1	57600 bps

Estas entradas sólo se leen durante el arranque.

Una vez finalizada la secuencia de arranque, el sintetizador quedará permanentemente recibiendo datos por la conexión serie.

Si está habilitado el eco, se enviará de vuelta el carácter apenas recibido. Inmediatamente después el sintetizador analiza el carácter y verifica si completa un comando, si esto es así, se procesa y se convierte a un comando interno, el cual se agrega a la lista de reproducción. Esta tarea está a cargo del analizador de comandos, también llamado parser, que es quien se encarga de identificar los comandos, verificar su validez y la de sus parámetros, y derivarlos al secuenciador para ser procesados.

El sintetizador funciona como un secuenciador, cada comando válido que llega se va agregando a la lista de reproducción, y paralelamente el programa va ejecutando en orden los comandos internos colocados en la lista. De esta manera es posible mantener un flujo ininterrumpido de datos hacia el sintetizador, y al mismo tiempo libera al host de tener que enviar datos en tiempo real, ya que puede hacer envíos en paquetes a su propio tiempo siempre que se envíen nuevos datos antes de que finalice la reproducción.

La lista de reproducción es de 79 bytes, ocupando todos los comandos internos 1 byte excepto los 4 de configuración, que requieren 2 bytes. Sin embargo, no necesariamente hay una correspondencia 1 a 1 entre comandos ASCII y comandos internos, ya que algunos fonemas se traducen en más de un comando interno. Por esta razón se debe verificar permanentemente la salida CTS, que se pone en 1 cuando la lista está llena, y en 0 cuando el sintetizador puede aceptar más datos.

3.1 - Comandos secuenciables y comandos inmediatos

Como se explicó anteriormente, el sintetizador recibe una secuencia de caracteres, la cual devuelve inmediatamente si está habilitado el eco. Si se recibe una secuencia correspondiente a un comando válido, solamente ahí ingresa al secuenciador como comando interno, como último elemento de la lista de reproducción. Si no se completa un comando válido, la secuencia recibida se descarta y no llega al secuenciador.

La mayoría de los comandos del sintetizador son secuenciables, esto es, que se procesarán, se almacenarán en la lista de reproducción, y serán ejecutados por el secuenciador en el mismo orden en que llegaron. Sin embargo, existen 2 comandos inmediatos, que serán procesados por el analizador de comandos sin ser agregados a la lista de reproducción, por lo que sus efectos serán inmediatos.

Los comandos inmediatos son:

- ! Detiene el sonido que se está reproduciendo, borrando todos los elementos pendientes en la lista de reproducción.
- > Detiene el sonido que se está reproduciendo, pero sin borrar la lista de reproducción, y continúa reproduciendo el siguiente elemento.
- I (Instrumento) Carga la tabla de ondas del instrumento /7 en RAM.

Estos comandos existen para de alguna manera sincronizar el secuenciador con eventos en tiempo real del controlador (la computadora o microcontrolador que envía secuencias al sintetizador). Puede ocurrir que el controlador esté enviando continuamente una secuencia de comandos para reproducir voz o sonido, y que en un momento deba cancelar la reproducción actual y enviar una nueva secuencia, como respuesta a algún evento no programado, como por ejemplo la pulsación de una tecla por parte del usuario, la colisión de dos objetos en un juego, etc. Dado que el sintetizador funciona como un secuenciador, la única manera de reaccionar ante un evento para cambiar la secuencia reproducida sería ir enviando los comandos uno por uno en el tiempo exacto en que deban ser reproducidos, ya que de haber enviado una secuencia más larga, podría haber aún elementos para reproducir al momento de producido el evento. Sin embargo, esto desaprovecharía la capacidad de secuenciación del sintetizador, y obligaría a llevar el registro de los tiempos en el controlador. Para facilitar este uso, se puede enviar las secuencias en bloques de varios comandos dejando que el sintetizador las procese a su tiempo, y utilizar el comando ! para interrumpirla cuando sea necesario, enviando luego la nueva secuencia deseada.

Otra utilidad de los comandos ! y > está relacionada con el modo de repetición continua del sintetizador, al que se entra enviando la secuencia (C00). El comando de configuración C especifica la cantidad de ciclos de duración que tendrá cada ejecución de un fonema o instrumento

musical, y el parámetro 00 en particular le indica al secuenciador que debe repetir el fonema o instrumento sin límite de duración, hasta que se le ordene detenerse con los comandos ! o >. Sería posible por ejemplo colocar al sintetizador en modo de repetición continua y enviar luego una secuencia de voz o sonido, la que quedaría repitiendo el primer elemento variable (fonema o instrumento, más al respecto en la próxima sección), y se podría enviar un comando > cada vez que se recibiera algún evento, lo que haría avanzar la secuencia al siguiente elemento de la lista. Utilizando este método se podría hacer que el sintetizador cante, hable o genere sonido al ritmo de la pulsación de una tecla, de un reloj, o de cualquier otro evento. El último comando, !, se verá en la sección "Funcionamiento como generador de sonido".

3.2 - Comandos variables (fonemas e instrumentos)

El sintetizador dispone de varios comandos, entre los cuales están los de configuración, los inmediatos, y los que generan sonido. Dentro de estos últimos, algunos son fijos y otros variables, en el sentido de que son afectados por la configuración de los comandos **Z**, **N** y **C**, para ajustar la nota y duración de los mismos.

Los comandos fijos, aquellos que no alteran su reproducción en ningún caso, son los siguientes: **B**, **D**, **F**, **G**, **J**, **K**, **P**, **R**, **R2**, **S**, **T**, el carácter espacio, los silencios de duraciones definidas, representados por los caracteres **apóstrofe**, **coma**, **punto y coma**, **punto**, y los comandos extendidos **/0**, **/1** y **/2**. Estos comandos no son afectados por el modo de repetición continua. Los comandos variables, que pueden ser modificados por los comandos de configuración, son **las vocales**, los fonemas **L**, **M**, **N**, el espacio variable **_** y los 5 instrumentos **/3** a **/7**. Estos comandos son afectados por el modo de repetición continua, y estando en ese modo se reproducirán continuamente hasta recibir los comandos ! o >.

4 - Funcionamiento como sintetizador de voz

El sintetizador de voz dispone de 21 fonemas y 6 silencios, de los cuales son variables los fonemas **A**, **E**, **I**, **O**, **U**, **L**, **M**, **N**, y el espacio **_**.

Es posible modificar tanto la duración en ciclos como el tono de voz y la nota de los fonemas variables, para esto hay que explicar como genera la voz el sintetizador.

Los fonemas variables se almacenan como tablas de ondas que se reproducen a la nota especificada mediante comandos de configuración, por defecto esta nota es C3 para el tono base de la voz (ajustable con el comando **Z**), y C2 para la nota de la voz (ajustable con el comando **N**). La nota natural de los sonidos, es decir la nota a la que hay una correspondencia 1 a 1 entre una muestra del fonema y una muestra emitida, es C3, que se representa con 66 muestras. Cuando se configura al sintetizador para emitir sonido una octava más abajo, es decir C2, lo que hace es repetir cada muestra 2 veces, dado que siempre se emite la misma cantidad de muestras por segundo, y que una onda en C2 tiene una duración del doble que una nota en C3. La cantidad de muestras emitidas para un fonema dependerá de la nota que se configure, repitiendo muestras si se baja de C3, y eliminando muestras, y perdiendo por lo tanto la calidad del sonido, si se pasa de C3.

Para emitir la voz en la calidad original se debe configurar el tono base a C3, con el comando **(Z30)**, que especifica la octava 3 y la nota 0 (Do). El tono base de la voz no modifica la nota a la que se genera la voz, sino mas bien el tipo de voz, es decir si el tono de la voz en general es bajo, medio o alto.

Lo que define la nota a la que se genera la voz es una onda envolvente cuya nota puede configurarse con el comando **N**, y que por defecto se configura en la nota C2, que se escribiría **(N20)**, esto es octava 2, nota 0 (Do). Este es el comando que se tiene que utilizar para cantar, y está relacionado con el comando **C**.

El sintetizador repite continuamente la onda base a la nota configurada con el comando **Z**, y le aplica una envolvente que define la nota de la voz, configurada con el comando **N**. La duración del fonema está especificada en ciclos de la envolvente, lo que se hace con el comando **C**. Esto significa que al enviar la secuencia **(Z30N20C06)OLA**, se configurará el tono base de la voz en C3, la envolvente en C2 (un ciclo de envolvente por cada 2 ciclos de la onda base), y la duración de los

fonemas variables en 6 ciclos, luego se reproducirán 6 ciclos de envolvente del fonema O, 5 ciclos de envolvente del fonema L (enseguida aclararemos esto), y 6 ciclos de envolvente del fonema A. La duración del fonema L es un caso especial a tener en cuenta, ya que el sintetizador está configurado para el uso normal de la voz, en la cual el fonema L suele tener una duración menor que la de las vocales, por lo cual para evitar tener que configurar la duración antes y después de un fonema L, el programa la calcula automáticamente a alrededor de 3/4 de la duración configurada con el comando **C**.

El silencio variable **_**, si bien no emite sonido, opera con las mismas reglas que los fonemas variables, debiendo calcularse su duración en base a la cantidad de ciclos del comando **C** y la nota especificada con el comando **N**.

También existen dos modificadores temporales que aplican a las vocales y sirven para dar acentuación a las mismas, estos son los caracteres **+** y **-**, que enviados a continuación de una vocal elevan o disminuyen un semitono a la nota configurada con el comando **N**. Debe tenerse en cuenta sin embargo que el efecto es temporal, ya que no se altera la nota configurada, y la nota modificada sólo se aplica a esa ejecución en particular. De esta forma pueden agregarse acentos a las palabras sin tener que agregar comandos de configuración.

Como se explicó en la introducción, algunos de los fonemas incluyen un silencio inicial, ya que están pensados para usarse en medio de una frase, si se está usando alguno de esos fonemas al comienzo de una secuencia o después de un silencio, puede especificarse que se elimine el silencio inicial agregando un **1** luego del fonema. Los que permiten esto son los fonemas CH, F, K, P y T.

A continuación tenemos dos ejemplos del uso de los comandos.

Ejemplo 1:

Texto original: "Sintetizador de voz."

Texto a enviar: "SINTETISADO+R DE BO-S "

En este caso se reemplazan las Z por S, la V por B, se agrega el acento en la O de SINTETIZADOR, y se pronuncia la última sílaba de la frase con un tono menor. También se agrega un espacio al final para que suene la S, ya que el sintetizador queda a la espera del próximo carácter para saber si debe pronunciar S o se trata del sonido SH. Al enviar otro carácter distinto de H, en este caso el espacio, automáticamente interpreta el sonido como S.

Ejemplo 2:

Texto original: "PIC 16 F 6 48 A"

Texto a enviar: "PIK DIESISE+IS E+FE SE+IS KUAR2E+NTAIO+CHO A-"

Nota: R2 es el comando que corresponde a la R suave.

Tabla 2 - Comandos directos de voz

COMANDO	FONEMA	DESCRIPCION
A	A	
E	E	
I	I	
O	O	
U	U	
A+	Á	vocal acentuada, reproduce A con un semitono más
E+	É	vocal acentuada, reproduce E con un semitono más
I+	Í	vocal acentuada, reproduce I con un semitono más
O+	Ó	vocal acentuada, reproduce O con un semitono más
U+	Ú	vocal acentuada, reproduce U con un semitono más
A-	a.	última sílaba de la frase, A con un semitono menos

COMANDO	FONEMA	DESCRIPCION
E-	e.	ultima silaba de la frase, E con un semitono menos
I-	i.	ultima silaba de la frase, I con un semitono menos
O-	o.	ultima silaba de la frase, O con un semitono menos
U-	u.	ultima silaba de la frase, U con un semitono menos
B	B	
CH	CH	
CH1	CH	inicio de palabra, CH sin silencio inicial
D	D	
F	F	
F1	F	Inicio de palabra, F sin silencio inicial
G	G/GU	lueGo/aGUila/Gato/Guitarra
J	J	Juego/Gente
K	K	
K1	K	inicio de palabra, K sin silencio inicial
L	L	
M	M	
N	N	
P	P	
P1	P	inicio de palabra, P sin silencio inicial
R	RR	alaRRma/peRRo/RRoca/RRaiz
R2	R	caRa/aRena
S	S	
T	T	
T1	T	inicio de palabra, T sin silencio inicial
SH	SH	LLamada/faLLa/aYer
'	Silencio	32 mseg. (pausa auxiliar entre fonemas)
(Espacio)	Silencio	50 mseg. (espacio normal entre palabras)
,	Silencio	250 mseg.
;	Silencio	400 mseg.
.	Silencio	1000 mseg.
_	Silencio	Silencio de duración configurable por comandos N y C

Tabla 3 - Comandos extendidos

COMANDO	DESCRIPCION
/0	Reproduce un tono (beep)
/1	Reproduce un sonido de campanilla (beep con volumen descendente)
/2	Reproduce un sonido de error o alarma
/3	Reproduce ruido de "nota", duración y envolvente configurables
/4	Reproduce sonido de bajo, de nota, duración y envolvente configurables
/5	Reproduce sonido de órgano, de nota, duración y envolvente configurables
/6	Reproduce sonido de guitarra eléctrica, de nota, duración y envolvente configurables
/7	Reproduce sonido en RAM, definido por el usuario, de nota, duración y envolvente configurables

Tabla 4 - Comandos inmediatos

COMANDO	DESCRIPCION
!	Detiene el sonido y borra la lista de reproducción
>	Detiene el sonido actual y pasa al siguiente elemento de la lista
	Carga en RAM la definición del instrumento /7

Tabla 5 - Comandos de configuración

COMANDO	DESCRIPCION
Bon	Ajusta la octava y nota (semitono) de la onda base de la voz y de la envolvente de ruido e instrumentos
Non	Ajusta la octava y nota (semitono) de la envolvente de la voz, ruido e instrumentos
Cxx	Ajusta la duración de los fonemas en ciclos
Vx	Ajusta el volumen general del sonido
Mx	Configura el modo de modulación de ruido e instrumentos M0 Deshabilita envolvente de ruido e instrumentos M1 Habilita envolvente cíclica, rango de notas alto (baja duración) M2 Habilita envolvente cíclica, rango de notas bajo (alta duración) M3 Habilita envolvente única, rango de notas alto (baja duración) M4 Habilita envolvente única, rango de notas bajo (alta duración)
Ex	Selecciona la envolvente usada para la modulación de ruido e instrumentos: E0 Envolvente triangular (asciende 1/4, desciende 3/4) E1 Envolvente diente de sierra descendente E2 Envolvente diente de sierra ascendente E3 Envolvente definida por el instrumento en RAM

5 - Funcionamiento como generador de ruido

El sintetizador dispone de un generador de ruido que se invoca con el comando **/3**. Cuando se envía este comando, se genera ruido al ritmo de la nota configurada con el comando **N**, con la duración configurada con el comando **C**, y con el modo de modulación y envolvente configurados con los comandos **M** y **E**.

Dado que el ruido no tiene frecuencia, lo que define la duración es la "nota" y la cantidad de ciclos que se configure. En el caso del generador de ruido, sólo se puede escalar la frecuencia hacia abajo, es decir que la velocidad de generación de una nueva muestra de ruido puede ir desde la mínima nota, C0, configurada enviando la secuencia (**N00**), hasta la máxima nota, C3, configurada enviando la secuencia (**N30**), donde se generará una muestra de ruido por cada muestra de sonido. Si bien es posible configurar la nota hasta C6, el ruido generado entre C3 y C6 será exactamente el mismo.

También es posible modular el ruido con una envolvente de forma, modo de funcionamiento y nota seleccionables, para una explicación detallada ver la sección dedicada al funcionamiento del generador de sonido.

6 - Funcionamiento como generador de sonido

El sintetizador también incorpora la función de generación de sonido, con 4 instrumentos disponibles: bajo, órgano, guitarra eléctrica, y una onda definible por el usuario.

A estas 4 ondas posibles se les puede configurar la nota con el comando **N**, la duración en ciclos con el comando **C**, el modo de modulación con el comando **M**, y la forma de onda de la envolvente con el comando **E**.

El rango de notas de los instrumentos va desde C0 a C6, siendo las notas de una octava las siguientes:

- 0 Do (C)
- 1 Do sostenido (C#)
- 2 Re (D)
- 3 Re sostenido (D#)
- 4 Mi (E)
- 5 Fa (F)
- 6 Fa sostenido (F#)
- 7 Sol (G)

8	Sol sostenido (G#)
9	La (A)
A	La sostenido (A#)
B	Si (B)

Por ejemplo, si queremos configurar la nota del sonido en Si de la octava 4, deberíamos enviar la secuencia (**N4B**), y si queremos configurar la nota en Re sostenido de la octava 2, deberíamos enviar la secuencia (**N23**).

La duración de un sonido se especifica igual que para el caso de la voz y el ruido, en ciclos cuya duración real depende de la nota. La duración final se puede calcular de la siguiente manera:

Duración (en segundos) = (1 / frecuencia de la nota) x duración (en ciclos)

En la tabla 7 se muestran las frecuencias de las notas permitidas.

6.1 - Modulación y envolventes

Además de especificar el instrumento, la nota y la duración, es posible modular el sonido con una envolvente configurable. Para modificar el modo de modulación, o deshabilitarlo, se utiliza el comando **M**, que requiere un parámetro entre 0 y 4.

La frecuencia de la onda envolvente puede configurarse mediante el comando **Z**, que opera de manera similar al comando **N** del sintetizador de voz, que modula el volumen de la onda base, sólo que aquí los comandos están invertidos, ya que es el comando **N** el que define la nota del instrumento (onda base), mientras que el comando **Z** define la nota/duración de la envolvente. Según como se use la envolvente, se podrá ver la nota especificada con el comando **Z** como nota o como duración, ya que puede usarse una envolvente de frecuencias altas o una de frecuencias bajas, incluso de varios segundos por ciclo.

Dado que las envolventes son más útiles con ciclos de larga duración, se decidió ampliar el rango bajando 2 octavas a las notas especificadas con el comando **Z**, esto significa que si se envía la secuencia (**Z60**), lo que se tendrá en realidad es una envolvente en C4, esto es la nota Do de la octava 4, de frecuencia 261,63 Hz, lo que da una duración de ciclo de $1 / 261,63 \text{ Hz} = 3,82$ milisegundos. Del mismo modo, si especificamos la nota de envolvente más baja, con la secuencia (**Z00**), se tendría una envolvente en la nota C de la octava -2, o lo que es lo mismo, la frecuencia de C0 dividida por 4, es decir $16,35 \text{ Hz} / 4 = 4,0875 \text{ Hz}$, que tiene una duración de ciclo de $1 / 4,0875 \text{ Hz} = 244,64$ milisegundos. Es decir que por defecto las envolventes de ruido e instrumentos pueden variar en duración entre 3,82 ms y 244,64 ms.

Dado que estas duraciones pueden resultar muy breves para algunas aplicaciones, existe un segundo rango que al habilitarlo divide la frecuencia de las notas especificadas por 256, en lugar de dividirla por 4. Si aplicamos los mismos cálculos, la mínima duración de ciclo de envolvente se daría con la nota más alta, C6, de frecuencia 1046,50 Hz, la cual, dado que se divide la frecuencia por 256, se convertiría en C-2, es decir la misma nota que se corresponde con la máxima duración del rango alto, por lo que la duración sería de 244,62 ms. Por otro lado, la mínima nota (máxima duración) que se puede especificar con la secuencia (**Z00**) corresponde a la nota C0 (16,35 Hz), que al dividirse por 256 equivaldría a C-8, o lo que es lo mismo, $16,35 \text{ Hz} / 256 = 0,0638 \text{ Hz}$, que daría una duración de ciclo de 15,657 segundos. Sin embargo, el método utilizado para calcular este rango pierde precisión en las duraciones a medida que baja la frecuencia, por lo cual en la práctica las duraciones de las envolventes de ruido e instrumentos estarán entre 245 ms y 31,14 segundos, con algunos valores de notas que tendrán idéntica duración.

En la tabla 6 se detallan las duraciones de envolvente y los comandos correspondientes para ajustarlas.

Volviendo al comando **M**, el parámetro especifica si se habilita o no la modulación de ruido e instrumentos, el modo de modulación en caso de habilitarla, y si la envolvente será cíclica, es decir que se repetirá al terminar un ciclo, o si será única, esto es, que sólo se ejecutará el primer ciclo. Si se selecciona el modo de envolvente única y el ruido/instrumento dura más que la envolvente, se emitirá silencio hasta que termine la reproducción del ruido/instrumento, mientras que si se selecciona el modo de envolvente cíclica, la envolvente se repetirá una y otra vez hasta finalizar la

reproducción del ruido/instrumento. Los valores posibles para el parámetro del comando **M** se encuentran detallados en la tabla 5.

Por último, si se habilita la modulación de ruido o instrumentos, se debe especificar la forma de la onda envolvente, que puede ser triangular, diente de dierra descendente, diente de sierra ascendente, o definida por el usuario. Esto se especifica mediante el comando **E**, que puede aceptar un parámetro entre 0 y 3, tal como está detallado en la tabla 5.

Tabla 6 - Duraciones de la onda envolvente para ruido/instrumentos

Tabla 7 - Notas y frecuencias

COMANDO	ENVOLVENTE INSTRUMENTOS		COMANDO	NOTA	FRECUENCIA (Hz)
	RANGO BAJO DURACION (seg.)	RANGO ALTO DURACION (seg.)			
(Z00)	31,14073	0,24465	(N00)	C0	16,35
(Z01)	15,57027	0,23095	(N01)	C#0	17,32
(Z02)	15,57038	0,21798	(N02)	D0	18,35
(Z03)	15,57057	0,20566	(N03)	D#0	19,45
(Z04)	15,57059	0,19417	(N04)	E0	20,6
(Z05)	15,57041	0,18323	(N05)	F0	21,83
(Z06)	15,57084	0,17301	(N06)	F#0	23,12
(Z07)	15,57061	0,16327	(N07)	G0	24,5
(Z08)	10,38027	0,15408	(N08)	G#0	25,96
(Z09)	10,38032	0,14545	(N09)	A0	27,5
(Z0A)	10,38032	0,13727	(N0A)	A#0	29,14
(Z0B)	10,38025	0,12958	(N0B)	B0	30,87
(Z10)	10,38032	0,12232	(N10)	C1	32,7
(Z11)	7,78533	0,11544	(N11)	C#1	34,65
(Z12)	7,78524	0,10896	(N12)	D1	36,71
(Z13)	7,78535	0,10285	(N13)	D#1	38,89
(Z14)	6,22859	0,09709	(N14)	E1	41,2
(Z15)	6,22862	0,09164	(N15)	F1	43,65
(Z16)	6,22844	0,08649	(N16)	F#1	46,25
(Z17)	6,22842	0,08163	(N17)	G1	49
(Z18)	5,19025	0,07706	(N18)	G#1	51,91
(Z19)	5,19014	0,07273	(N19)	A1	55
(Z1A)	4,44882	0,06865	(N1A)	A#1	58,27
(Z1B)	4,44873	0,06479	(N1B)	B1	61,74
(Z20)	4,4488	0,06115	(N20)	C2	65,41
(Z21)	3,89258	0,05772	(N21)	C#2	69,3
(Z22)	3,89261	0,05448	(N22)	D2	73,42
(Z23)	3,46034	0,05143	(N23)	D#2	77,78
(Z24)	3,11406	0,04854	(N24)	E2	82,41
(Z25)	3,11422	0,04581	(N25)	F2	87,31
(Z26)	2,83098	0,04324	(N26)	F#2	92,5
(Z27)	2,83099	0,04082	(N27)	G2	98
(Z28)	2,59497	0,03852	(N28)	G#2	103,83
(Z29)	2,39549	0,03636	(N29)	A2	110
(Z2A)	2,22449	0,03432	(N2A)	A#2	116,54
(Z2B)	2,07617	0,03240	(N2B)	B2	123,47
(Z30)	2,07617	0,03058	(N30)	C3	130,81
(Z31)	1,94624	0,02886	(N31)	C#3	138,59

COMANDO	ENVOLVENTE INSTRUMENTOS		COMANDO	NOTA	FRECUENCIA (Hz)
	RANGO BAJO DURACION (seg.)	RANGO ALTO DURACION (seg.)			
(Z32)	1,83184	0,02724	(N32)	D3	146,83
(Z33)	1,73014	0,02571	(N33)	D#3	155,56
(Z34)	1,55708	0,02427	(N34)	E3	164,81
(Z35)	1,48302	0,02291	(N35)	F3	174,61
(Z36)	1,41569	0,02162	(N36)	F#3	185
(Z37)	1,35397	0,02041	(N37)	G3	196
(Z38)	1,24569	0,01926	(N38)	G#3	207,65
(Z39)	1,19789	0,01818	(N39)	A3	220
(Z3A)	1,1122	0,01716	(N3A)	A#3	233,08
(Z3B)	1,03807	0,01620	(N3B)	B3	246,94
(Z40)	1,00454	0,01529	(N40)	C4	261,63
(Z41)	0,94361	0,01443	(N41)	C#4	277,18
(Z42)	0,88975	0,01362	(N42)	D4	293,66
(Z43)	0,84166	0,01286	(N43)	D#4	311,13
(Z44)	0,77862	0,01213	(N44)	E4	329,63
(Z45)	0,74181	0,01145	(N45)	F4	349,23
(Z46)	0,69206	0,01081	(N46)	F#4	369,99
(Z47)	0,66256	0,01020	(N47)	G4	392
(Z48)	0,62277	0,00963	(N48)	G#4	415,3
(Z49)	0,58755	0,00909	(N49)	A4	440
(Z4A)	0,5561	0,00858	(N4A)	A#4	466,16
(Z4B)	0,51896	0,00810	(N4B)	B4	493,88
(Z50)	0,49426	0,00764	(N50)	C5	523,25
(Z51)	0,46472	0,00722	(N51)	C#5	554,37
(Z52)	0,43867	0,00681	(N52)	D5	587,33
(Z53)	0,41522	0,00643	(N53)	D#5	622,25
(Z54)	0,38927	0,00607	(N54)	E5	659,26
(Z55)	0,37082	0,00573	(N55)	F5	698,46
(Z56)	0,34603	0,00541	(N56)	F#5	739,99
(Z57)	0,32782	0,00510	(N57)	G5	783,99
(Z58)	0,30837	0,00482	(N58)	G#5	830,61
(Z59)	0,29104	0,00455	(N59)	A5	880
(Z5A)	0,27553	0,00429	(N5A)	A#5	932,33
(Z5B)	0,25955	0,00405	(N5B)	B5	987,77
(Z60)	0,24522	0,00382	(N60)	C6	1046,5

6.2 - Instrumento definido por el usuario

El sintetizador permite definir un instrumento o envoltente por medio del comando **I**, el cual requiere como parámetro una serie de números en hexadecimal que representan una tabla de ondas de 66 bytes. En el arranque este instrumento se define como una onda cuadrada.

Para definir una nueva onda, se debe invocar al comando **I** en modo de configuración, es decir cuando se haya accedido al mismo abriendo un paréntesis, y debe ser seguido por 132 dígitos hexadecimales (2 dígitos por byte).

Esta onda se puede usar como instrumento, por medio del comando **I7** en modo normal, o como envoltente mediante el comando **E3** en modo de configuración.

Hay que tener en cuenta que los instrumentos y las envoltentes usan un ajuste de cero diferente, ya que el sintetizador siempre comienza y termina una onda en el cruce por cero, que por emitir audio de 8 bits, corresponde al valor 128, por lo que al definir la tabla de ondas, ésta debería

