

microSint

HR4

Manual de operación

0110010110



## **Manual preliminar del sintetizador de voz HR4**

Válido para la versión: 1.2 Alfa 2, del 7-Nov-2016

Actualizado: 19-Dic-2016

Desarrollo y documentación: Jorge Castillo (pastbytes)

Email: [info@pastbytes.com](mailto:info@pastbytes.com)

## > INDICE DE CONTENIDOS

Introducción .....	4
Especificaciones .....	4
Conexión .....	5
Funcionamiento interno del sintetizador .....	6
Lenguaje de control .....	6
Comandos variables (fonemas e instrumentos) .....	7
Comandos de voz .....	7
Tabla 1 – Comandos directos de voz .....	8
Comandos extendidos .....	8
Tabla 2 – Comandos extendidos .....	9
Comandos de configuración .....	9
Tabla 3 – Comandos de configuración .....	10
Otros comandos .....	10
Tabla 4 – Comandos inmediatos .....	11
Tabla 5 – Comandos de entrada/salida .....	11
Tabla 6 – Comandos de escape .....	12
microSint como sintetizador de voz .....	13
microSint como generador de ruido .....	14
microSint como generador de sonido .....	15
Modulación y envolventes .....	16
Tabla 7 - Duraciones de la onda envolvente para ruido/instrumentos .....	17
Tabla 8 - Notas y frecuencias .....	17
Instrumento definido por el usuario .....	18

## > INTRODUCCION



**microSint HR4** es parte de una serie de sintetizadores de voz diseñados para hablar español (castellano) y que comparten total o parcialmente un mismo lenguaje para los comandos y fonemas. En particular, **microSint HR4** es un sintetizador de voz y sonido

implementado con un microcontrolador PIC 16F648A, que se puede armar con un mínimo de componentes, se controla con una interfaz serie compatible con RS232, y puede funcionar alimentado entre 3V y 5V.

Este sintetizador de voz está basado en un conjunto reducido de fonemas del español rioplatense, por lo que faltan algunos sonidos usados en otras regiones. 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. 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 entre mayúsculas y minúsculas, los dos modos son aceptados indistintamente, para facilitar el uso desde cualquier controlador (computadora, microcontrolador, etc.).

Es posible ajustar el tipo y nota de la voz, así como la velocidad del habla, y se dispone también de un generador básico de ruido y sonido que permite emitir música y efectos.

El sintetizador dispone de un buffer interno, lo que permite el envío de texto en cualquier momento, sin necesidad de esperar a que se termine de hablar, y está preparado para recibir un flujo ininterrumpido de datos, ya que no es necesario enviar una frase completa para que comience a procesarla y emitir sonido.

## > ESPECIFICACIONES



**microSint HR4** es un sintetizador que genera sonido PCM de 8 bits, con una frecuencia de muestreo fija de 8680 muestras por segundo. El sonido digital se convierte en analógico por medio de modulación de ancho de pulso (en inglés, Pulse-Width Modulation, PWM) sobre una onda cuadrada que tiene una frecuencia de 78125 Hz, con un ciclo útil que varía de 0 a 100% con una resolución de 8 bits.

Estas son las principales características del sintetizador:

- Sonido digital de 8 bits, con frecuencia de muestreo fija de 8680 Hz.
- Control de volumen virtual de 16 niveles (4 bits).
- Controlable por bus serie compatible con RS232 "TTL".
- Conexión directa a microcontroladores.
- Comunicación con dos líneas de datos (RX y TX) y dos líneas de control (CTS y PLAYING).
- Velocidad de conexión seleccionable: 1200, 9600, 19200 o 57600 bps.
- Sintetizador de voz con 21 fonemas del español.
- Tipo de voz ajustable en un rango de 6 octavas más 1 semitono.
- Nota musical de la voz ajustable en un rango de 6 octavas más 1 semitono.
- Velocidad del habla ajustable.
- Comandos directos para avanzar al siguiente fonema del buffer, y para borrar el buffer.
- Generador de tonos en un rango de 6 octavas más 1 semitono, con 4 posibles instrumentos.
- 3 instrumentos predefinidos en EEPROM interna: bajo, organo y guitarra eléctrica.
- 1 instrumento definible por el usuario, almacenable en memoria RAM interna.
- Un instrumento se define como una onda de 66 muestras de 8 bits cada una.
- 4 posibles ondas envolventes para los instrumentos, con 4 modos de modulación.
- Generador de ruido con tono, duración, envolvente y modo de modulación programables.

## > CONEXION



El sintetizador se controla a través de un bus serie compatible con RS232 TTL. Además de las señales de datos TX y RX, se dispone de una salida CTS que indica al controlador si el sintetizador de voz puede o no recibir datos, y una señal (PLAYING) que indica que el sintetizador está reproduciendo sonido. Esta última señal sirve para sincronizar un programa con la emisión de sonido.

### Descripción de señales:

**BUTTON1:** Entrada de pulsador 1 (activado a masa). Reservado para uso futuro.

**BUTTON2:** Entrada de pulsador 2 (activado a masa). Reservado para uso futuro.

**JP3/\_INITMSG:** Si esta entrada se conecta a masa, el sintetizador emite el mensaje hablado inicial, y el mensaje por RS232. Esta entrada sólo se lee en el arranque.

**\_RESET:** Si se coloca a masa, al normalizar la entrada el sintetizador vuelve a arrancar.

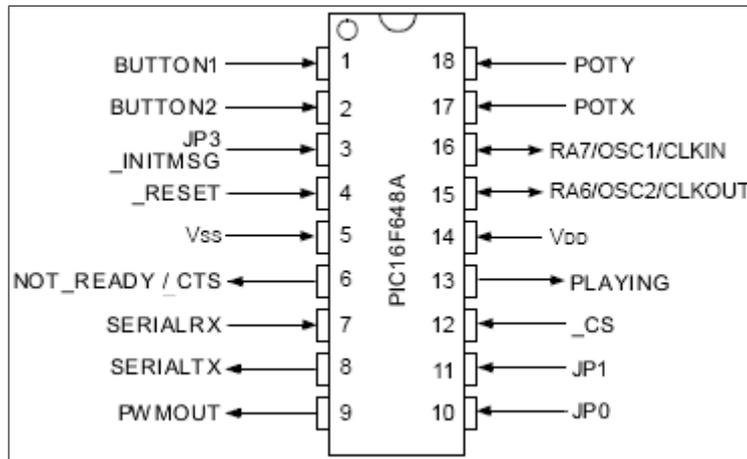
**Vss:** Alimentación del chip (masa).

**NOT\_READY/CTS:** Esta salida indica si el sintetizador puede recibir datos (si CTS=0) o si el buffer está lleno (si CTS=1).

**SERIALRX:** Entrada de datos.

**SERIALTX:** Salida de datos.

**PWMOUT:** Salida de audio por modulación de ancho de pulso, debe filtrarse para no dejar pasar frecuencias superiores a 4300 Hz.



**JP0 y JP1:** Estas entradas seleccionan una de las 4 posibles velocidades para el puerto serie, y son leídas durante el arranque. En la tabla de la derecha se pueden ver las combinaciones de JP0 y JP1 para las distintas velocidades disponibles.

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

**\_CS:** Esta entrada debe estar a 0 para que el sintetizador reciba y envíe datos, si esta a 1, ignorará cualquier dato que reciba, y descartará cualquier dato que deba enviar.

**PLAYING:** Esta salida se pone a 1 durante la reproducción de sonido, y vuelve a 0 cuando finaliza.

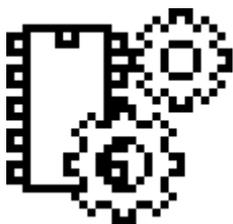
**Vdd:** Alimentación del chip (positivo).

**OSC1 y OSC2:** Entradas para el cristal de 20 Mhz del oscilador.

**POTX:** Entrada de potenciómetro X. Reservado para uso futuro.

**POTY:** Entrada de potenciómetro Y. Reservado para uso futuro.

## > FUNCIONAMIENTO INTERNO DEL SINTETIZADOR



Al arrancar, el sintetizador chequea el estado de la entrada JP3 (\_INITMSG), si esta entrada es 1, emite un mensaje hablado y envía por la salida RS232 (siempre que la entrada \_CS esté en 0) un texto indicando la versión del programa. Si JP3 es 0 se deshabilitan ambos mensajes en el arranque, esto es particularmente útil en el caso de querer integrar el sintetizador a otro proyecto. El mensaje emitido por RS232 es fijo y no debe ser alterado. El mensaje hablado sí puede modificarse, ya que está almacenado entre las direcciones 198 y 255 de la memoria EEPROM de

datos del PIC. Se admite cualquier secuencia de comandos válida, que el sintetizador procesará hasta encontrar un byte de valor FF (hexadecimal), o hasta llegar al final de la memoria.

Una vez finalizada la secuencia de arranque, el sintetizador quedará permanentemente recibiendo datos por la conexión serie, siempre que la entrada \_CS esté en 0.

Inmediatamente después de recibido un carácter, el sintetizador lo analiza 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, que es quien se encarga de identificar los comandos, verificar su validez y la de sus parámetros, y derivarlos al secuenciador para ser procesados.

Internamente, 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 contenidos en la lista. De esta manera es posible mantener un flujo ininterrumpido de datos hacia el sintetizador, y al mismo tiempo se libera al controlador 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 tiene un tamaño 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.

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 6 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. Ver **otros comandos**.

## > LENGUAJE DE CONTROL



Este sintetizador de voz está basado en un conjunto reducido de fonemas del castellano, diseñado en principio en base al español rioplatense, por lo que faltan algunos fonemas usados en otras regiones. 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. 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 entre mayúsculas y minúsculas ya que esto dificultaría su uso en algunas computadoras de 8 bits, los dos modos son aceptados indistintamente.

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 son válidos el carácter **espacio** (ASCII 32 decimal, 20 hexadecimal), y los caracteres correspondientes a comandos inmediatos: **!** (ASCII 33 decimal, 21 hexadecimal), **DEL** (ASCII 127 decimal, 7F hexadecimal), **ESC** (ASCII 27 decimal, 1B hexadecimal), **TAB** (ASCII 9 decimal/hexadecimal) y **VT** (ASCII 11 decimal, 0B hexadecimal).

Los caracteres **V**, **X** y **Z** sólo son válidos cuando se está en modo de configuración, los caracteres de retorno de carro y avance de línea se consideran válidos aunque no tienen ningún efecto en el sintetizador, y los caracteres

Cualquier otro carácter distinto recibido se considera inválido.

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.

## >> 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 (ver **comandos de configuración**).

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 **I0**, **I1** y **I2** (ver **comandos extendidos**). 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 **I3** a **I7**. Estos comandos son afectados por el modo de repetición continua, y estando en ese modo se reproducirán continuamente hasta recibir los comandos **!** o **DEL** (ver **otros comandos**).

## >> COMANDOS DE VOZ

Se considera un comando a una secuencia de caracteres ASCII que representa a un comando interno, no necesariamente un fonema. La **tabla 1** muestra los comandos específicos para la generación de voz.

Algunos fonemas agregan por defecto 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, puede ser conveniente utilizar 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 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 tipo de voz y la nota de los fonemas variables, por defecto el tipo de voz está definido con la nota Do de la octava 3 (C3), y la nota de la voz, como la nota Do de la octava 2 (C2). Tanto el tipo como la nota de la voz pueden redefinirse a un semitono y octava distintos. Para esto existen los **comandos de configuración**.

**Tabla 1 - Comandos directos de voz**

COMANDO	FONEMA	DESCRIPCION
A	A	
E	E	
I	I	
O	O	
U	U	
A+	Á	vocal acentuada, reproduce A con x semitonos más*
E+	É	vocal acentuada, reproduce E con x semitonoa más*
I+	Í	vocal acentuada, reproduce I con x semitonos más*
O+	Ó	vocal acentuada, reproduce O con x semitonos más*
U+	Ú	vocal acentuada, reproduce U con x semitonos más*
A-	a.	ultima silaba de la frase, A con x semitonos menos*
E-	e.	ultima silaba de la frase, E con x semitonos menos*
I-	i.	ultima silaba de la frase, I con x semitonos menos*
O-	o.	ultima silaba de la frase, O con x semitonos menos*
U-	u.	ultima silaba de la frase, U con x semitonos 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

\* La cantidad de semitonos que se suman o restan a la nota de la voz se puede especificar con el comando de configuración **X** (expresividad de la voz).

## >> COMANDOS EXTENDIDOS

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

Tres de estos comandos generan sonidos predefinidos: **I0**, **I1**, **I2**.

Otros 5 comandos extendidos corresponden a instrumentos musicales: **I3**, **I4**, **I5**, **I6** y **I7**.

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**). Ver **comandos de configuración**.

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 **I3** a **I7**. Este comando funciona como una continuación del último instrumento, se invoca con el caracter =, 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.

**Tabla 2 - Comandos extendidos**

COMANDO	DESCRIPCION
/0	Beep: Emite un tono de frecuencia, duración y volumen fijos.
/1	Campanilla: Emite un tono de frecuencia y duración fijos, y volumen decreciente (beep con volumen descendente).
/2	Emite un sonido de error o alarma.
/3	Emite ruido al ritmo de la nota actual, con duración y envolvente configurables, siendo válidas las notas de C0 a C3.
/4	Emite sonido de bajo, de nota, duración y envolvente configurables.
/5	Emite sonido de órgano, de nota, duración y envolvente configurables.
/6	Emite sonido de guitarra eléctrica, de nota, duración y envolvente configurables.
/7	Emite sonido del instrumento en RAM, definido por el usuario, de nota, duración y envolvente configurables.

## >> COMANDOS DE CONFIGURACION

Existen 7 comandos de configuración que permiten modificar parámetros generales tanto del sintetizador de voz como del generador de ruido y sonido.

El tono natural de la voz del sintetizador 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. Esta segunda onda suele tener una frecuencia menor que la de la onda base. 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.

Es posible ajustar la duración de los fonemas, especificándola como 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.

Cuando se utilizan comandos de voz, el comando de expresividad **X** permite configurar la cantidad de semitonos que se sumaran o restaran a la nota de la voz al ejecutar las vocales acentuadas, en un rango de 0 a 15. El valor por defecto es 3.

También 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.

Los comandos para modificar estos parámetros sólo pueden enviarse estando en el 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 ).

**Tabla 3 – Comandos de configuración**

COMANDO	DESCRIPCION
<b>Zon</b>	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. Al comando <b>Z</b> 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).
<b>Non</b>	Este comando modifica la nota musical a la que se emite la voz. Al comando <b>N</b> 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).
<b>Cxx</b>	Al comando <b>C</b> le siguen dos dígitos en hexadecimal, indicando la cantidad de ciclos de duración de los fonemas, entre 00 y FF.
<b>Xx</b>	Al comando <b>X</b> le sigue un dígito en hexadecimal, indicando el nivel de expresividad de la voz, de 0 a F.
<b>Vx</b>	Al comando <b>V</b> le sigue un dígito en hexadecimal, indicando el volumen del sonido, de 0 a F.
<b>Mx</b>	Al comando <b>M</b> le sigue un dígito, indicando el modo de modulación del sonido en los instrumentos musicales ( <b>13, 14, 15, 16 y 17</b> ). 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)
<b>Ex</b>	Al comando <b>E</b> le sigue un dígito, indicando el número de envolvente a utilizar para modular el ruido y el sonido de los instrumentos musicales:. 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
<b>I</b>	Al comando <b>I</b> 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:

**(Z30N20C06VFX3)**    Base en C3, Nota en C2, Duración de 6 ciclos, Volumen 15, Expresividad 3.

**>> OTROS COMANDOS**

Existen comandos que no son secuenciables, y que el sintetizador procesa inmediatamente. Si bien todos son comandos inmediatos, llamaremos de esta forma solamente a los que no reciben respuesta del sintetizador, para distinguirlos de los comandos que sí lo hacen, como los comandos de escape y los comandos de entrada/salida.

Los comandos inmediatos son 3, uno de ellos sirve para definir el instrumento musical en RAM, cargando una secuencia de muestras a la memoria del sintetizador, mientras que los otros 2 controlan la operación del secuenciador.

**Tabla 4 - Comandos inmediatos**

COMANDO	DESCRIPCION
!	Detiene el sonido que se está reproduciendo, borrando todos los elementos pendientes en la lista de reproducción.
DEL	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 <b>I7</b> en RAM.

**DEL** corresponde al carácter DELETE, ASCII 127 decimal, 7F hexadecimal.

El comando **I** debe ejecutarse en modo de configuración, ya que de lo contrario se interpretaría como el fonema **i**. Este comando requiere que a continuación se envíen 66 bytes representando a las muestras de 8 bits que forman un ciclo del instrumento definido por el usuario, estos bytes deben enviarse como números hexadecimales (cada byte requiere dos caracteres representando su valor en hexadecimal). Este comando se verá en detalle en la sección **microsint como generador de sonido**.

Los comandos **!** y **DEL** existen para 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 (para enviar el siguiente comando antes de que termine de reproducirse el anterior, evitando silencios intermedios). Si se tratara de aprovechar el buffer del sintetizador enviando una secuencia más larga, podría ocurrir que hubiera aún elementos para reproducir al momento de producido el evento, y habría que esperar antes de enviar una nueva secuencia. Para facilitar las cosas, el sintetizador permite que se envíe la secuencia en bloques de varios comandos, dejando que el secuenciador las procese a su tiempo, y que se utilice el comando **!** para interrumpirla cuando sea necesario, enviando luego la nueva secuencia deseada.

Otra utilidad de los comandos **!** y **DEL** 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 **DEL**. 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), 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.

**Tabla 5 - Comandos de entrada/salida**

COMANDO	DESCRIPCION
TAB	Devuelve el valor del potenciómetro X y el estado del botón 1.
VT	Devuelve el valor del potenciómetro Y y el estado del botón 2.

**TAB** corresponde al carácter "horizontal TAB", ASCII 9 decimal/hexadecimal.

**VT** corresponde al carácter "Vertical Tab", ASCII 11 decimal, 0B hexadecimal.

El sintetizador dispone de dos entradas analógicas pensadas para la lectura de los ejes de un joystick analógico compatible con el puerto de juegos de PC (conector DB15). Las entradas

POTX y POTY se conectan a cada uno de los ejes del joystick, o a potenciómetros de 100K ohms, y las entradas BUTTON1 y BUTTON2 a sus correspondientes botones de disparo. Cada uno de estos comandos hace que el sintetizador responda inmediatamente con un byte que contiene en los bits 0 a 6 el valor del potenciómetro correspondiente, y en el bit 7 el estado del botón de disparo correspondiente.

**Tabla 6 - Comandos de escape**

COMANDO	DESCRIPCION
Esc V	Consulta el modelo y la versión del firmware del sintetizador.

Este comando sirve para detectar la presencia de un sintetizador de voz, y consultar el modelo y la versión del firmware. La secuencia comienza con el caracter **ESC**, ASCII 27 decimal, 1B hexadecimal, sigue con la letra **V**, y luego 5 caracteres **NUL**, ASCII 0 decimal/hexadecimal. Inmediatamente luego de recibida la letra **V**, el sintetizador enviará la primera letra del modelo del sintetizador, que en este caso sera **H**, luego enviará un byte de la secuencia de versión por cada caracter **NUL** que se le envíe.

La secuencia de envío y recepción se puede ver aquí:

→ <b>HR4</b>	Esc	V	NUL	NUL	NUL	NUL	NUL	
← <b>HR4</b>		Esc (*)	'H'	'R'	4	V1	V2	V3

\* El sintetizador sólo devolverá el caracter ESC si tiene habilitado el eco de RS232 (deshabilitado por defecto).

La primera fila muestra la secuencia de 7 bytes que debe enviarse al sintetizador para este comando, y la segunda fila muestra las respuestas del sintetizador.

Veamos primero como es la secuencia de versión que envía el sintetizador, que está compuesta de 6 bytes. Los primeros 3 bytes determinan el modelo del sintetizador, en este caso HR4, y los otros 3 la versión del firmware.

**Byte 1:** 'H' (letra H, ASCII 72 decimal, 48 hexadecimal)

**Byte 2:** 'R' (letra R, ASCII 82 decimal, 52 hexadecimal)

**Byte 3:** 4 (valor binario indicando el número de sintetizador, en este caso 4)

**Byte 4:** Valor binario indicando el primer número de versión del firmware

**Byte 5:** Valor binario indicando el segundo número de versión del firmware

**Byte 6:** Valor binario indicando el tercer número de versión del firmware y su estado (alfa, beta, final)

La versión del firmware se especifica con 3 números, los dos primeros son directos, ya que corresponden a los números separados por un punto, por ejemplo para la versión 1.2, el byte 4 tendría el valor 1 y el byte 5 el valor 2.

El tercer número indica el estado del firmware y su versión en caso de ser alfa o beta.

Los valores se interpretan de esta manera:

0...127	→	ALFA 1...ALFA 128
128...254	→	BETA 1...BETA 127
255	→	FINAL

Si el byte 6 tiene un valor entre 0 y 127, el firmware es alfa y se suma 1 para obtener el tercer número de versión.

Si el byte 6 tiene un valor entre 128 y 254, el firmware es beta y se resta 127 para obtener el tercer número de versión.

Si el byte 6 es 255, el firmware es final.

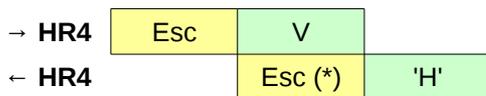
También puede interpretarse como un valor entre 0 y 255, ya que 0 corresponde a alfa 1 y 255 a una versión final, por lo que puede usarse como un valor absoluto para comparar contra una versión mínima requerida.

Ahora volvamos a ver la secuencia:



El sintetizador responde con un byte inmediatamente despues de recibido un comando que exige respuesta. La secuencia esta pensada para que el controlador no necesite estar continuamente verificando la recepcion de datos, ya que cualquier byte que envia el sintetizador es una respuesta especifica e inmediata a otro byte enviado por el controlador. De esta manera, el controlador sabe exactamente cuando recibira datos desde el sintetizador, lo cual facilita la comunicaci3n half-duplex a altas velocidades, en particular si el controlador no dispone de UART.

La secuencia ocurre de esta manera:



El controlador envia el caracter **ESC**, seguido de la letra **V**, e inmediatamente despues recibe el byte 1, conteniendo la letra **H**. No hay limite de tiempo entre el envio de **ESC** y **V**, pero luego de **V** debe recibirse inmediatamente la respuesta del sintetizador.



El controlador envia el caracter **NUL**, e inmediatamente recibe el byte 2, conteniendo la letra **R**. Este ultimo paso se repite 5 veces mas para completar la secuencia de version.

En los diagramas se muestra el envio y recepcion solapados, porque en un controlador con UART pueden ocurrir simultaneamente, sin embargo nada impide realizar la secuencia de este modo:



## > MICROSINT 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 duraci3n en ciclos como el tono de voz y la nota de los fonemas variables, para esto primero hay que entender 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 configuraci3n, 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 m3s 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 duraci3n del doble que una nota en C3. La cantidad de muestras emitidas para un fonema depender3 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 una cantidad configurable de semitonos 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 sección **comandos de voz**, 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 un ejemplo de uso de los comandos:

Texto original: "Sintetizador de voz microsint, version 1.2"

Texto a enviar: "SINTETISADO+R DE BO+S MIKROSI+NT,BERSIO+N U+NO PU+NT0 DOS "

En este caso se reemplazan las Z por S, las V por B, se agregan los acentos (la O de SINTETIZADOR, la O de VOZ, la I de MICROSINT, la O de VERSION, la U de UNO, y la U de PUNTO) y se pronuncia la última sílaba de la frase con un tono menor, ya que la O de DOS normalmente debería acentuarse. También se agrega un espacio 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, interpreta el sonido como S.

## > MICROSINT 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.

## > MICROSINT 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 hasta C6, y los semitonos dentro de una octava se numeran de la siguiente manera:

0	Do (C)	
<b>1</b>		Do sostenido (C#)
2	Re (D)	
<b>3</b>		Re sostenido (D#)
4	Mi (E)	
5	Fa (F)	
<b>6</b>		Fa sostenido (F#)
7	Sol (G)	
<b>8</b>		Sol sostenido (G#)
9	La (A)	
<b>A</b>		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 8** se muestran las frecuencias de las notas permitidas.

## >> MODULACION 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 7** 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 3**.

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 sierra 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 3**.

Tabla 7 - Duraciones de la onda envolvente para ruido/instrumentos

Tabla 8 - 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
(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

COMANDO	ENVOLVENTE INSTRUMENTOS		COMANDO	NOTA	FRECUENCIA (Hz)
	RANGO BAJO DURACION (seg.)	RANGO ALTO DURACION (seg.)			
(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

## >> 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 comenzar y terminar cercana a este valor. Las envoltentes, sin embargo, se procesan con el valor absoluto, siendo el mínimo volumen el valor 0 y el máximo el valor 255, por lo que no siempre una onda es apta tanto para instrumentos como para envoltentes. Debe notarse también que en realidad el sintetizador sólo ve los 4 bits más significativos de la tabla de ondas de las envoltentes, por lo que por ejemplo los valores 0 a 15 corresponderán al volumen mínimo de envoltente.

