

CREACIÓN DE SONIDOS SINTÉTICOS A TIEMPO REAL MEDIANTE EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN GRÁFICO PURE DATA

Christian Andrés Morales Torres,

Instituto Superior Tecnológico de Artes del Ecuador-Tecnología en Sonido y Acústica
christian.morales@itae.edu.ec

María Viviana Murillo Párraga,

Universidad de Guayaquil-Facultad de Comunicación Social
maria.muriNopa@ug.edu.ec

INTRODUCCIÓN

Este artículo contempla la implementación del lenguaje de programación gráfico Pure Data para la creación de sonidos sintéticos a tiempo real mediante el proceso denominado Audio Procedural. Por sonidos sintéticos nos referiremos a los generados mediante técnicas de síntesis sonora electrónicas y por Audio Procedural nos referimos al sonido tratado como un proceso en vez de al sonido como información almacenada. A diferencia de las grabaciones tradicionales que involucran el uso de micrófonos para registrar los sonidos reales y almacenarlos en formatos de archivos de audios digitales, el audio procedural permite construir el sonido mediante algoritmos que controlan el comportamiento mismo de la información, permitiendo generar sonidos de objetos o fuentes, cuya accesibilidad de grabación es limitada o imposible de realizar por los métodos convencionales, permitiendo además la manipulación de sus parámetros a tiempo real con propósitos de realismo y flexibilidad en el diseño sonoro para los distintos campos de aplicación.

Los ejemplos de simulación de sonidos que se presentan a continuación corresponden a la categoría de sonidos artificiales. Se abordarán los tonos telefónicos de teclado DTMF (Dual-tone multi-frequency) y los correspondientes a las cadencias en una central telefónica para el Tono de Invitación a Marcar, Tono de Ocupado y Tono de Llamada. Los modelos son obtenidos de la recopilación de datos de los documentos formales Libro Azul "Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización telefónicas" del Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico CCITT y el documento "Diferentes Tonos Utilizados en las Redes Nacionales (Según La Recomendación UIT-T E.180 (03/1998))" de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. La técnica de síntesis sonora aditiva a emplearse, permitirá generar frecuencias sinusoidales independientes que se sumen para generar los tonos descritos en ambos documentos.

Síntesis Aditiva

La técnica de Síntesis aditiva se la conoce por su particular implementación de osciladores individuales para la generación de tonos puros sinusoidales que permitan reconstruir cualquier sonido existente, al menos desde el punto de vista teórico. Si bien su implementación en la práctica es de un alto consumo de recursos y sus resultados de timbre no son musicalmente atractivos, han sido los respónsales del característico sonido de los primeros sintetizadores que dieron origen a la música electrónica. En el caso de generación de sonidos artificiales como el de alarmas o tonos telefónicos con parámetros muy bien establecidos, se convierte en una técnica ideal. La siguiente forma esquemática corresponde a la suma de salidas de señales por osciladores sinusoidales.

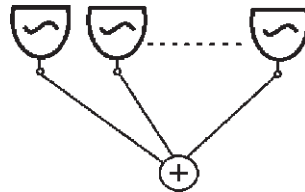


Figura 1. Esquema de Síntesis Aditiva

Códigos DTMF

Para el ejemplo de audio procedural por síntesis aditiva aplicado en Pure Data que se presentará, se ha escogido emular los sonidos de un teclado de teléfono digital moderno que se basa en la codificación DTMF (Dual-tone multi-frequency) en donde se suman las frecuencias de un grupo de frecuencias inferiores conformadas por 697Hz, 770 Hz, 852 Hz, 941 Hz y un grupo de frecuencias superiores conformadas por 1209 Hz, 1336 Hz, 1477 Hz y 1633 Hz para cada tecla que se pulse como se especifica en la siguiente figura y tabla de frecuencias:

		Grupo de frecuencias superiores (Hz)			
		1209	1336	1477	1633
Grupo de frecuencias inferiores (Hz)	697	1	2	3	A
	770	4	5	6	B
	852	7	8	9	C
	941	*	0	#	D

Figura 2. Atribución de Frecuencias a los diferentes símbolos y cifras del Teclado/ CCITT 48430

Tecla	Frecuencias	Tecla	Frecuencias
1	697+1209 Hz	7	852+1209 Hz
2	697+1336 Hz	8	852+1336 Hz
3	697+1477 Hz	9	852+1477 Hz
4	770+1209 Hz	*	941+1209 Hz
5	770+1336 Hz	0	941+1336 Hz
6	770+1477 Hz	#	941+1477 Hz

Tabla 1. Pares de frecuencias sumadas para la codificación DTMF

En Pure Data podemos utilizar el objeto grafico **"osc~"** que corresponde a un oscilador para generar un tono sinusoidal. Básicamente creamos los osciladores con las frecuencias especificadas en la codificación DTMF, dando como resultado horizontalmente **osc~ 697, osc~ 1209, osc~ 1336, osc~ 1477** y verticalmente **osc~ 697, osc~ 770, osc~ 852, osc~ 941**. A continuación conectamos los cables de salidas de los osciladores y los añadimos simultáneamente a un primer objeto multiplicador para dar el tono DTMF deseado. Por ejemplo, para el tono de la tecla 1 tomamos las salidas del **osc~ 697** y del **osc~ 1209** y las conectamos al objeto multiplicador de multiplicador de señal ***~** donde se sumarán y se amplificarán a una salida de audio mediante el objeto conversor digital-análogo **dac~** como un tono unísono que dará el sonido de la tecla 1 del teclado telefónico. Se ha estipulado que cada objeto multiplicador pueda prenderse y apagarse con un objeto conmutable **Toggle** de estado On/Off en su entrada derecha.

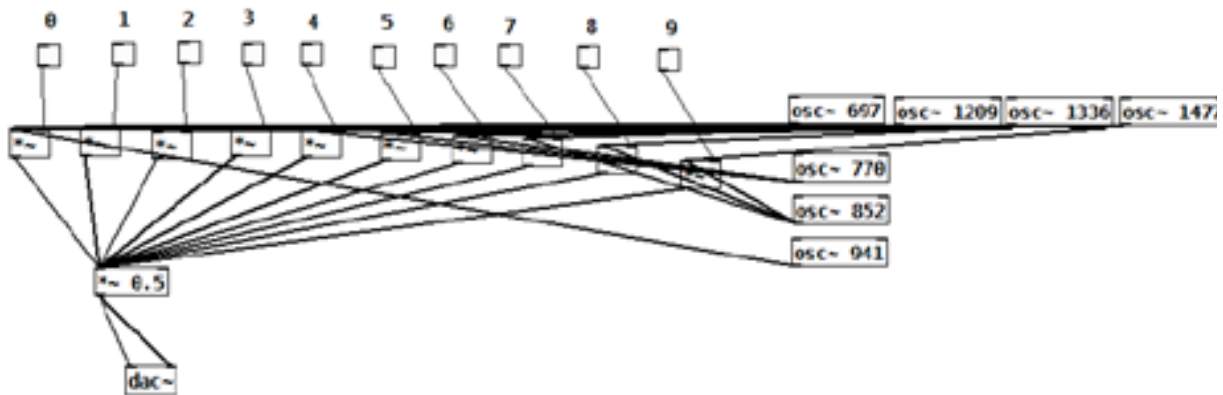


Figura 3. Algoritmo en Pure Data del Código DTMF

Tonos de Llamadas

La finalidad de la marcación de los códigos DTMF en un teléfono tiene como objetivo la identificación de un número de destinatario único asignado dentro de una red telefónica, que permita la comunicación entre los abonados. Debido al hecho de que tanto el abonado llamante como el abonado llamado necesitan ser informados del estado actual de sus líneas telefónicas, se estableció mediante la Recomendación ITU 182, la implementación de señales audibles para cada uno de ellos (García, 2005)

Las cadencias telefónicas que describiremos a continuación hacen referencia al Tono de Invitación a marcar, Tono de llamada y Tono de ocupado. La recomendación ITU ha establecido las cadencias y tonos de frecuencias a utilizarse por países. En la siguiente tabla se presenta la información de las cadencias Telefónicas utilizadas en Ecuador:

<i>PAÍS/TONO</i>	<i>FRECUENCIA en Hz</i>	<i>CADENCIA en segundos</i>
Ecuador		
Tono de ocupado -	425	0.33 on 0.33 off
Tono de congestión -	425	0.33 on 0.33 off
Tono de invitación a marcar -	425	continuo
Tono de llamada -	425	1.2 on 4.65 off
Tono de indicación de llamada en espera -	425	0.2 on 0.6 off

Tabla 2. Cadencias Telefónicas País: Ecuador

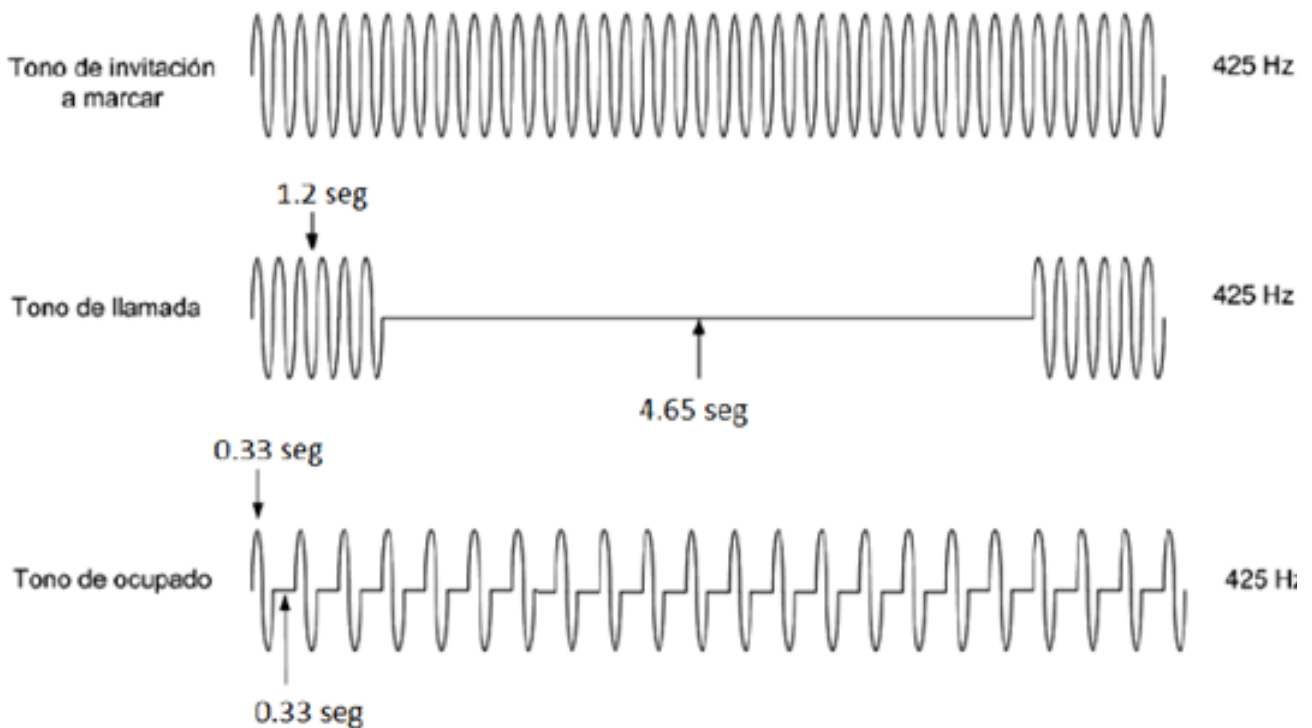


Figura 4. Representación Gráfica de señales en segundos de las cadencias para Ecuador.

En Pure Data el esquema que produciría el tono de invitación a llamar para Ecuador consistiría únicamente de un objeto oscilador osc~ que reproduzca la frecuencia de 425 Hz conectado al objeto multiplicador de señal *~ y enviado a las salidas de audio mediante el objeto conversor digital-analogo dac~ de la siguiente manera:

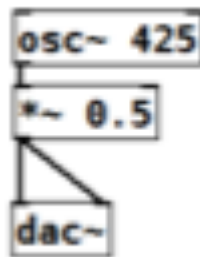


Figura 5. Algoritmo en Pure Data de Tono invitación a marcar. País: Ecuador

Para ejemplificar el esquema de síntesis aditiva de la figura 1 recurriremos a la información de Tonos de los Países de Canadá y Estados Unidos que utilizan 2 Frecuencias para la generación de sus cadencias Telefónicas como lo indica la siguiente tabla del documento ITU.

PAÍS/TONO	FRECUENCIA en Hz	CADENCIA en segundos
Canadá		
Tono de ocupado -	480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de congestión -	480+620	0.25 on 0.25 off
Tono de invitación a marcar -	350+440	continuo
Tono de llamada -	440+480	2.0 on 4.0 off
Tono de indicación de llamada en espera -	440	2x(0.3 on 10.0 off)
Estados Unidos de América		
Tono de ocupado -	600x120//600x133//600x140//600x160//480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de confirmación -	350+440	3x(0.1 on 0.1 off)
Tono de invitación a marcar -	600x120//600x133//600x140//600x160//350+440	continuo
Tono de repetición de invitación a marcar -	350+440	3x(0.1 on 0.1 off) + continuo
Tono de intervención -	600x120//600x133//600x140//600x160//480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de abonado inaccesible -	200//400	0.5 on 6.0 off
Tono de señal permanente -	480//400//500	continuo
Tono de grabación -	440	0.5 on 5.0 off
Tono de llamada -	420x40//500x40//440+480	2.0 on 4.0 off

Tabla 3. Cadencias Telefónicas Países: Canadá y Estados Unidos

En Pure Data el esquema que produciría el Tono de Invitación a Marcar para los dos países consistiría de dos osciladores que reproduzcan las frecuencias de 350 Hz y 440Hz y se sumen mediante un objeto sumatorio de señal y se amplifiquen con un objeto multiplicador de señal a la salida de un objeto conversor digital-análogo de la siguiente manera:

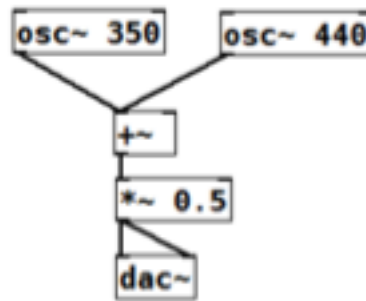


Figura 6. Algoritmo en Pure Data del Tono de Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos.

Para los Tonos de Ocupado de los 2 países cambiaremos a las frecuencias de 480 Hz y 620 Hz como consta en el documento ITU y agregaremos una programación para el control de las cadencias en segundos. Se especifica que el tiempo de encendido y el tiempo de apagado correspondan a 0.5 segundos igualitariamente por lo que el ciclo completo de la cadencia correspondería a un 1 segundo.

En Pure Data mantendremos la sumatoria de Frecuencias por la entrada izquierda, del objeto multiplicador, mientras que su entrada derecha corresponderá al algoritmo que permita encender en los tiempos estipulados las frecuencias. Debido a que Pure Data estima los tiempos en milisegundos, crearemos un objeto metro seguido del número 1000 que corresponderá al ciclo completo de 1 segundo. La salida de metro se conectara a un objeto Bang que permitirá visualizar y disparar el tiempo del ciclo a los mensajes 1 y 0 que están anteceditos por el objeto delay o retraso de 500 milisegundos en la entrada del mensaje 1, lo que permitirá generar la cadencia de prendido y apagado. Como complemento al diseño sonoro se crea una rampa de audio con el objeto line~ que suavizará los clicks producidos por el brusco cambio de estado de la membrana de altoparlantes o auriculares que pudiera notarse auditivamente. Finalmente con el objeto conmutable Toggle en la entrada del objeto metro se dará inicio a la cadencia correspondiente al tono de ocupado.

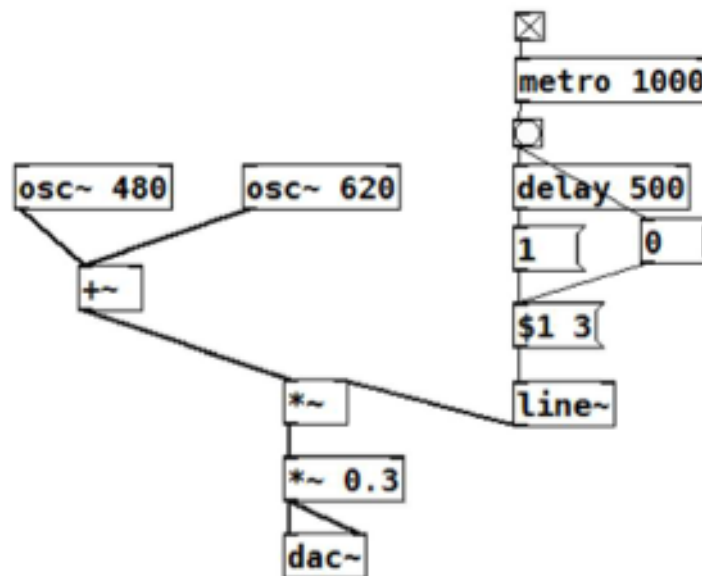


Figura 7. Algoritmo en Pure Data del Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.

Para emular el Tono de Llamada utilizaremos los mismos recursos descritos en el patch de Pure

Data para el Tono de Ocupado modificando ligeramente la información a emplearse. Reemplazaremos las frecuencias por 440 Hz y 480Hz en los objetos osciladores osc ~. Como se indica en la cadencia para este Tono, el ciclo completo corresponderá a los 6 segundos (2.0 On y 4.0 Off) por lo que metro estará seguido de 6000 milisegundos y el objeto delay de 4000 milisegundos.

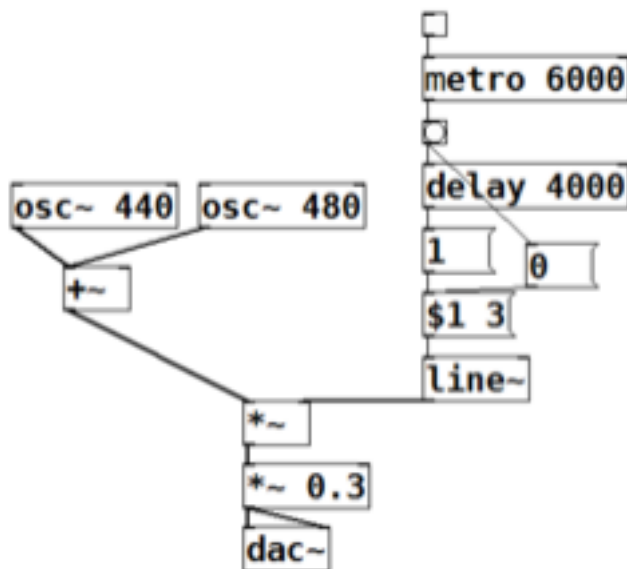


Figura 8. Algoritmo en Pure Data del Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos.

RESULTADOS:

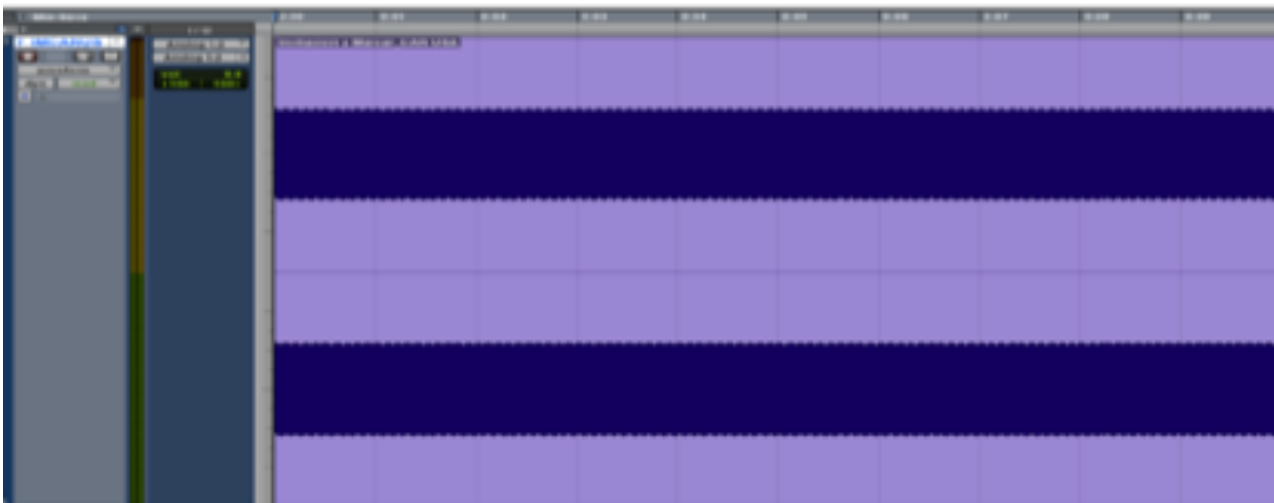
Al tratarse de información sonora generada únicamente por tonos puros recurrimos a la aplicación del analizador de Espectro Blue Cat's Fre FreqAnalyst para visualizar los resultados de respuesta en frecuencia en un rango de -60 dB, y para visualizar los resultados de los tiempos de cadencias telefónicas recurrimos al editor de la estación de Audio Digital Pro Tools.

La captura de pantalla 1 muestra en el analizador de espectro el tono continuo de invitación a marcar donde se constatan 2 valles correspondientes a las frecuencias de 350 Hz y 440 Hz separados por una depresión en amplitud en el orden de los -20 dB.



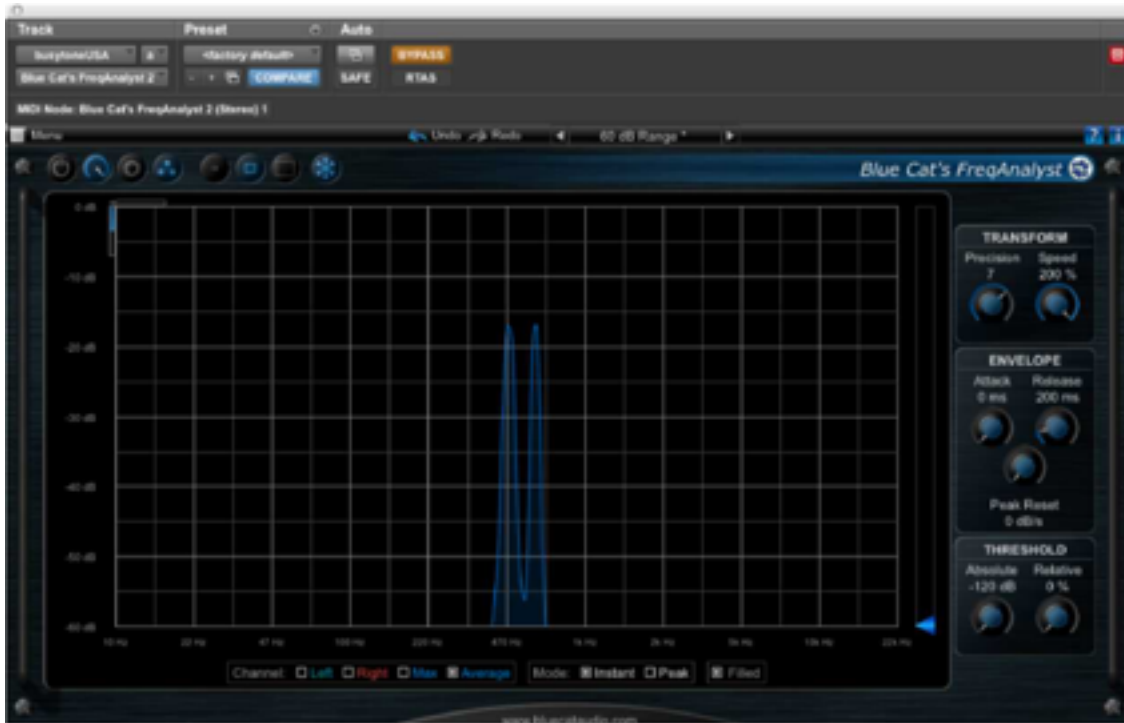
Cap. Pantalla 1. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range. Tono de Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos

La captura de pantalla 2 evidencia la cadencia telefónica del tono de invitación a marcar continuo que puede constarse en la regla de tiempo Min:Seg en ProTools



Cap. de Pantalla 2. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos.

La Captura de Pantalla 3 muestra dos valles de frecuencias predominantes separadas por una abrupta depresión en el orden de -40 dB con algunos cientos de frecuencias de distancia, el primer valle correspondiente a 480 Hz y el segundo a 620 Hz.



Cap. Pantalla 3. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.



Cap. Pantalla 4. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.

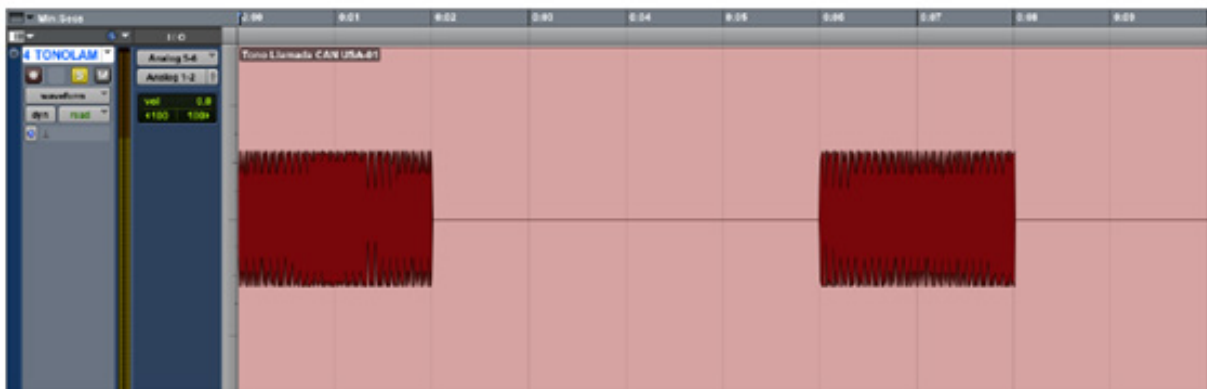
La captura de pantalla 4 evidencia la cadencia telefónica del Tono de Ocupado que puede constarse en la regla de tiempo Min:Seg en ProTools mostrando que en cada segundo se justifica los primeros 500 milisegundos de encendido, seguido del silencio que justifica los 500 milisegundos de apagado

La captura de pantalla 5 muestra dos valles de frecuencias predominantes muy cercanas con una depresión mínima de alrededor de los 3dB que corresponden a la frecuencia de 440 Hz y 480 Hz.



Cap. Pantalla 5. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range. Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos

La captura de pantalla 6 evidencia la cadencia telefónica del Tono de Llamada que puede constatare en la regla de tiempo Min:Secs en ProTools mostrando presencia de los tonos combinados en una duración de 2000 milisegundos, seguidos de un silencio correspondiente a los 40000 milisegundos que completan el ciclo total de los 6 segundos de la cadencia.



Cap. Pantalla 6. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

La generación de los sonidos como los del código DMTF y el de las cadencias telefónicas implementadas a tiempo real en un entorno de programación gráfico podrán brindar a los productores y diseñadores de sonido la habilidad y flexibilidad de usarlos en la simulación de llamadas telefónicas que puedan aportar un sonido limpio y directo a las producciones audiovisuales, a diferencia de emplear técnicas de microfónica con probables filtraciones de ruido que podrían registrarse en un entorno con malas condiciones acústicas. A su vez, el beneficio de una interfaz gráfica visual como la de Pure Data permitirá de una manera constructiva a un determinado usuario, relacionar los componentes

electroacústicos y técnicas de síntesis que se abordan desde la teoría, con un proceso sistemático y algorítmico del evento sonoro, permitiéndole ser partícipe del comportamiento del sonido con potenciales aplicaciones de interactividad y realidad virtual.

En conclusión se ha presentado un modelo de audio procedural que sintetiza sonidos artificiales como los especificados en documentos de la ITU y la CCIT con respecto a los sonidos de una central telefónica, basados en un motor de síntesis aditiva utilizando un lenguaje de programación gráfico como Pure Data.

REFERENCIAS:

García, M, & Santillán, L, (2005) Diseño e Implementación de un sistema de tarificación para Locutorios (Tesis de Pregrado) Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador

Barkl, Michael L.G, (2010) Composition: Pure Data as a meta-compositional instrument, PhD thesis, School of Music and Drama, University of Wollongong

Farnell, A, (2012) Designing Sound. London, England. The MIT Press

Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT. Diferentes tonos utilizados en las redes nacionales (según la recomendación uit-t e.180 (03/1998)). Anexo al boletín de explotación de la UIT N.o 955 - 1.v.201. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-E.180-2010-PDF-S.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT. Recomendaciones Generales sobre la Conmutación y la Señalización Telefónicas. Libro Azul. Tomo vi - Fascículo vi. Recuperado de: <http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.260.43.es.3025>.