

XVI Congreso Argentino de Acústica

Buenos Aires, 22 y 23 de Noviembre 2018

Asociación Amigos del Museo Nacional de Bellas Artes

ASOCIACIÓN de ACÚSTICOS ARGENTINOS

AdAA2018

Alineamiento y Claridad: el alineamiento del subwoofer en un estudio y su incidencia con parámetros acústicos de claridad

Alignment and Clarity: Studio subwoofer alignment and its impact on the Clarity Index
AdAA2018-035

Clasificación: EL

Indio Gauvron^{†1}, María Andrea Farina^{*2}

[†] Instituto de Sonido ECOS, Avellaneda, Argentina

¹ in_dio_ar@yahoo.com.ar

^{*} Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Bellas Artes - IPEAL, La Plata Argentina.

² maria_afar@yahoo.com.ar

Abstract— This work compares the results obtained from traditional alignment, used in the Live Sound environment (phase overlap at the crossover frequency), to the absolute time alignment. Apart from overlapping frequencies with subwoofer/s in Studio or Live Sound Systems, alignment impacts the Clarity Indexes for music (C80) and speech (C50). Based on measurements taken while evaluating alignment with these parameters, a new one is proposed to quantify the efficacy of one type of alignment compared to the other.

Keywords: alignment; Clarity Index; subwoofer.

Resumen— En el presente trabajo se comparan los resultados obtenidos del alineamiento tradicional, usado en los sistemas de vivo (solapamiento de fase en la frecuencia de cruce), con respecto al alineamiento en tiempo absoluto. La necesidad de alineamiento, más allá de solapar vías en fase del/los subwoofer/s en un estudio y en sistemas de vivo, incide en los parámetros acústicos Claridad de palabra (C50) y Claridad musical (C80). A partir de los valores medidos, se propone un nuevo parámetro que permite cuantificar la eficiencia de un tipo de alineamiento con respecto al otro.

Palabras clave: alineamiento; Claridad; subwoofer.

I. INTRODUCCIÓN

A partir de una práctica alineando un sistema de vivo se contrastó auditivamente cómo funcionaba antes y después del alineamiento. Las diferencias

surgieron donde menos se las esperaba (lejos de la frecuencia de cruce) dando como resultado, con el sistema alineado, una notoria mejora en la definición y claridad de los sonidos; específicamente en la zona de las frecuencias medias y altas del espectro.

De esta experiencia surge la idea de realizar una serie de mediciones con el objeto de establecer algún patrón que cuantifique la eficiencia del alineamiento en fase y en tiempo absoluto.

II. ALINEAMIENTO

En la práctica profesional se utilizan dos tipos de alineamiento:

- Sistemas demorados: para cubrir una gran distancia, respecto del escenario o de la fuente, se utiliza cada cierto tramo un sistema amplificado. Como las distancias entre el oyente y cada uno de estos sistemas es diferente, el más próximo debe retrasarse de modo que el tiempo de arribo del sonido desde ambos sistemas coincida (Figura 1).

- Sistemas de múltiples vías (relación tiempo-fase): debido a que los componentes de baja frecuencia están retrasados respecto de los medios

y estos, a su vez, están demorados en relación a los altos, en un sistema multiamplificado existe la necesidad de alinear dichos componentes en fase (Figura 2).

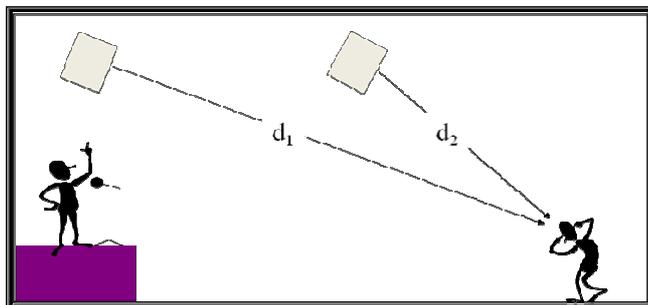


Fig. 1. Sistema de vivo demorado o de refuerzo sonoro.

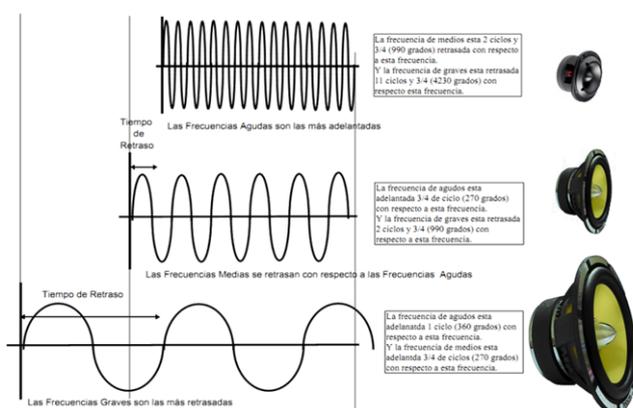


Fig. 2. Relación tiempo fase entre vías de un sistema.

Los parlantes pensados para bajas frecuencias tienen, por razones físicas, una respuesta más demorada en el tiempo. Un tweeter, con respecto al reproductor de medios, se haya adelantado en tiempo algunas longitudes de onda. El reproductor de medios, con respecto al woofer, se haya adelantado en tiempo otras tantas longitudes de onda. Como físicamente no existe la posibilidad de adelantarse en el tiempo, lo que sucede es que el woofer es el reproductor más atrasado de todo el sistema (3/4 de longitud de onda con respecto al reproductor de medios), le sigue el reproductor de medios (3/4 de longitud de onda con respecto al tweeter -2 1/2 longitudes de onda adelantado con respecto al woofer-) y, por último, el tweeter (prácticamente sin atraso en su reproducción -adelantado 2 1/2 longitudes de onda con respecto al reproductor de medios-). Ver detalles en la figura 2.

En septiembre de 1964 Raymon Dones patenta el subwoofer. Este dispositivo fue creado para reproducir las frecuencias de las bandas más bajas del espectro y, de esta manera, lograr extender el rango de los sistemas con mayor rendimiento. Para alcanzar este objetivo se han utilizado hasta la actualidad diversas aproximaciones como por ejemplo, suspensión acústica, línea de transmisión, radiador pasivo, bass reflex, líneas de retardo, filtros acústicos de orden n, reflector Carlson, etc.

Debido al comportamiento físico de estas aproximaciones el retraso en tiempo se incrementa notoriamente. Como el subwoofer siempre complementa a otros sistemas de rango completo (full range), aparece la necesidad de compensar esa diferencia de tiempo.

Existe una metodología clásica, mundialmente utilizada, que se basa en solapar las fases de la respuesta de ambos sistemas en la frecuencia de cruce. Para ello se fija el tiempo de retraso del sistema de rango completo y, con esta referencia, se retrasa en tiempo el subwoofer hasta conseguir que las fases coincidan [1]. La metodología está tan instaurada que hasta los vetustos crossovers analógicos poseen, para su banda de bajas frecuencias, un filtro pasa todo que agrega un retraso adicional, que se puede controlar, para alinear en fase (LF delay – Figura 3).



Fig. 3. Crossover analógico con su filtro pasa todo (LF delay) para retrasar las bajas frecuencias.

Hay otra posibilidad: alinear en tiempo absoluto; el procedimiento es inverso al método clásico. Consiste en retrasar, tomando como referencia el retardo original del subwoofer (el componente más atrasado del sistema), el resto de los componentes.

En las figuras 4 a 6, se observan las posibles situaciones a modo de ejemplo: subwoofer sin

alineado, alineado en fase (método clásico) y alineamiento en tiempo absoluto.

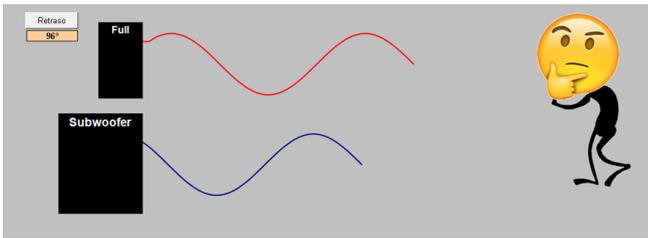


Fig. 4. Subwoofer sin alinear en la frecuencia de cruce con retraso propio de 96°

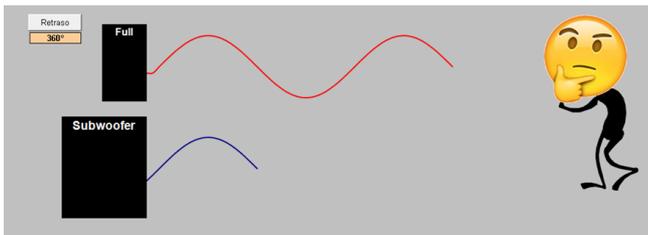


Fig. 5. Alineamiento en fase (método clásico). El retraso final del subwoofer en este ejemplo es de un ciclo completo (360°).

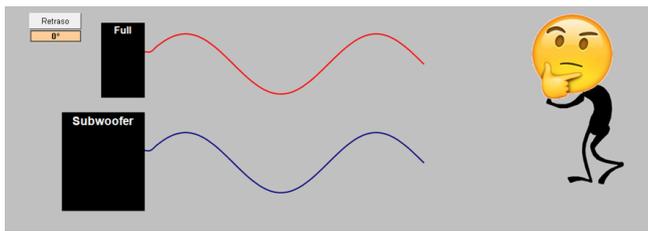


Fig. 6. Alineamiento en tiempo absoluto. El retraso total del sistema es el original del subwoofer.

III. PARÁMETROS ACÚSTICOS FÍSICOS

Para estudiar la acústica de un espacio se utilizan modelos que explican su comportamiento y se observa si reflejan lo que los usuarios expresan sobre la acústica de un lugar. Una alternativa es realizar mediciones con instrumental específico, a partir de las cuáles se obtienen valores y se comparan los resultados. Otro método consiste en realizar una simulación digital del recinto. Desde el punto de vista perceptual, un espacio puede estudiarse desde lo que las personas oyen, en ese caso, se realizan encuestas y/o entrevistas que permiten calificar la respuesta de los oyentes.

A partir de mediciones, simulaciones o diagnósticos perceptuales se definen parámetros acústicos (físicos o perceptuales según el caso). En cuanto a los parámetros físicos, existe una gran cantidad que obliga a una selección según la

descripción que cada uno aporta y las posibilidades de aplicación de acuerdo al instrumental y la metodología de medición de cada uno.

Los parámetros físicos se clasifican en cuatro grupos: temporales, niveles de energía globales, espaciales y razones de energía o cocientes energéticos. En la siguiente tabla se sintetizan algunos de ellos.

TABLA I
PARÁMETROS ACÚSTICOS FÍSICOS PARA EL ESTUDIO DE LAS SALAS

Parámetros físicos		
Temporales	Comportamiento de las señales acústicas en el tiempo	<ul style="list-style-type: none"> •Tiempo de Reverberación (T_{30}) •Reverberación Temprana (EDT)
Niveles de energía globales	Cantidad de energía total de un evento	<ul style="list-style-type: none"> •Nivel de Presión Sonora (L_p) •Nivel Sonoro Normalizado (G)
Espaciales	Distribución de la energía acústica en el espacio	<ul style="list-style-type: none"> •Fracción de Energía Lateral (LF) •Coeficiente de Correlación Cruzada Interaural (IACC)
Razones de energía o cocientes energéticos	Energía de dos porciones de una señal acústica	<ul style="list-style-type: none"> •Claridad (C_{80}, C_{50}) •Definición (D_{50}) •Centro del Tiempo (T_s)

A. Razones de energía

Las razones de energía o cocientes energéticos son un grupo de parámetros que comparan la energía de dos porciones de una señal acústica. Por ejemplo, la Claridad (C_{80} , C_{50}) y la Definición (D). A continuación definiremos cada uno de ellos.

La Claridad relaciona la cantidad de energía inmediata, que llega al oyente durante los primeros 80 ms, con la energía sonora tardía que se produce después de transcurridos los 80 ms [2]. Se la define matemáticamente de acuerdo a la ecuación (1) cuyo valor se expresa en dB.

$$C_{80} = 10 \cdot \lg \left[\frac{\int_0^{0.08} h^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} h^2(t) dt} \right] \quad (1)$$

Donde $h(t)$ es el valor de la presión sonora instantánea en un punto receptor producido por un sonido impulsivo emitido desde una fuente sonora. La integración se inicia con la llegada de la energía sonora directa en el punto receptor. Este parámetro tiene aplicación para señales musicales o de gran autocorrelación (> 30 ms) [3].

Por su parte, la Claridad a 50 ms es una relación energética que compara la energía recibida durante los primeros 50 milisegundos con la recibida en el resto del proceso de decaimiento del campo sonoro. La expresión es similar a la citada

anteriormente para C80, modificándose solo los límites de integración.

Se aplica a la voz hablada o para señales de baja autocorrelación (< 30 ms) [3].

$$C_{50} = 10 \cdot \lg \left[\frac{\int_0^{0.05} h^2(t) dt}{\int_{-0.05}^{\infty} h^2(t) dt} \right] \quad (2)$$

A diferencia de la Claridad, la Definición relaciona la energía temprana con la energía total de la señal. Si bien resultan parámetros altamente correlacionados (linealmente dependientes) no pueden ser usados indistintamente para comparar salas. Se obtiene de la siguiente relación:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.05} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (3)$$

En las figuras 7 y 8 se observa, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos a partir de la simulación digital de una sala, para los parámetros Claridad (C80) y Definición (D50).

C-80 [dB] 1 kHz

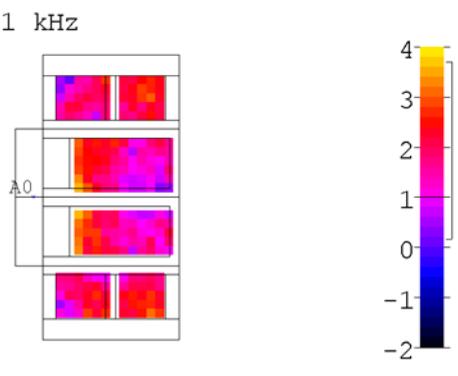


Fig. 7. Paraninfo, UNL-Santa Fe. Distribución de C80 en platea. Imagen tomada de la simulación de la sala.

D-50 [%] 1 kHz

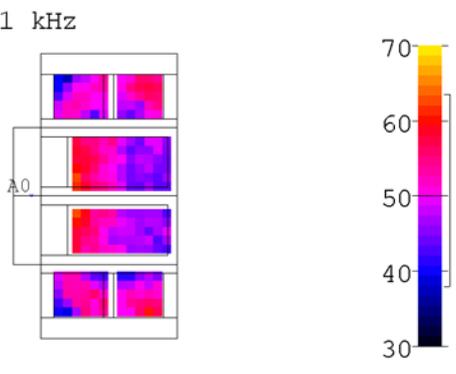


Fig. 8. Paraninfo, UNL-Santa Fe. Distribución de D50 en platea. Imagen tomada de la simulación de la sala.

Si la Claridad tiene por valor 0 dB significa que la cantidad de energía en el principio y en el final de la señal (antes y después de los 50 ms u 80 ms, según el caso) es la misma, es decir, la energía temprana coincide con la energía tardía o reverberante.

Un valor de Claridad alto significa que la energía sonora temprana es superior a la tardía. Esto implica que dentro de los primeros 50 ms u 80 ms se producirán un mayor número de reflexiones que provienen de superficies cercanas a la fuente o al oyente.

Algunos autores han establecido valores óptimos de acuerdo al uso musical de un espacio. Para el caso de las salas de concierto, Barron establece que el valor óptimo de C80 para frecuencias medias se encuentre entre -2 dB < C80 < 2 dB [4]. Reichardt, quien definió el parámetro, sostiene que su valor no debe ser nunca inferior a 0 dB [2]. Por su parte, Lehmann sugiere que no debe ser inferior a los 3 dB [5]. Arau lo fija, extendiendo el límite superior de Barron, entre -2 dB < C80 < 4 dB. Para salas de ópera, Arau establece como valores óptimos entre 2 dB < C80 < 6 dB y para salas de teatro y conferencias C80 > 6 dB [6]. En la siguiente tabla se sintetizan estos valores.

TABLA II
VALORES ÓPTIMOS DE CLARIDAD DE ACUERDO AL USO DEL ESPACIO

Uso del espacio	Autor	Valores sugeridos
Salas de concierto	Barron, 1993	-2dB < C ₈₀ < 2dB (para frecuencias medias)
Salas de concierto	Reichardt, 1975	Superior a 0 dB
Salas de concierto	Lehmann, 1986	Superior a 3 dB
Salas de concierto	Arau, 1999	-2dB < C ₈₀ < 4dB
Salas de ópera	Arau, 1999	2dB < C ₈₀ < 6dB
Salas de teatro y conferencias	Arau, 1999	C ₈₀ > 6dB
Estudios de grabación	Farina - Gauvron, 2017	Promedio 10 dB (y más; no sugerido, detectado)

Beranek menciona como peculiaridad que de acuerdo a situaciones y roles musicales específicos se prefieren distintos valores de Claridad. Durante un ensayo, un director de orquesta expresa satisfacción respecto de la sala cuando percibe con gran definición todos los detalles musicales y el valor de C80 se ubica entre 1 dB y 5 dB. Dirigiendo un concierto o como oyente, la misma persona prefiere un espacio acústico más reverberante con valores de C80 entre -1 dB y -4 dB [7].

Aparentemente sería deseable que el valor fuera positivo. Sin embargo, que su valor sea negativo no es inadecuado en todos los casos; por un lado,

porque existen diferencias en las preferencias personales de los oyentes y algunos de ellos eligen campos sonoros más reverberantes y menos definidos y, por otro, porque el modelo presenta una limitación en los casos de reflexiones potentes en el entorno de los 80 ms, donde la Claridad puede variar entre valores positivos y negativos, y la diferencia a nivel perceptual puede ser casi nula.

Podría definirse la Claridad de acuerdo al grado de separación de los sonidos entre sí en una representación musical o hablada: si hay más energía en la primera parte de la señal los sonidos o las sílabas serán muy definidas y en el caso contrario quedarán más solapadas entre ellas. El grado de Claridad entonces depende de las necesidades de la representación. Si es hablada necesitaremos comprender el mensaje y se necesitará, por lo tanto, más energía en el comienzo de la señal. Si es una representación musical dependerá del estilo. Una obra de textura contrapuntística con un tempo rápido, un allegro por ejemplo, necesitará más energía en la primera parte de la señal (las señales cambian rápidamente) mientras que algunas obras para órgano o de tempo lento, como el canto gregoriano, admitirán campos más reverberantes y menos claros. En estos casos, la existencia de gran cantidad de energía en la parte final de la señal no sería un problema por las características del lenguaje musical (la señal cambia muy lentamente).

Así, la percepción de la Claridad depende de la acústica de la sala, de las características musicales de la obra y de las habilidades e intenciones de los músicos o del orador. Recientemente hemos descubierto que el alineamiento de los sistemas tiene incidencia directa sobre el parámetro Claridad.

IV. METODOLOGÍA

A. Medición en estudio

Para obtener los datos iniciales, que posteriormente se analizaron, se procedió a capturar respuestas al impulso en un estudio con sistema de monitores de rango completo (full range) y subwoofer. Se midió con las vías del monitoreo sin alineamiento, alineadas en fase y alineadas en tiempo.

Todas las capturas de las respuestas al impulso se tomaron mediante el método de transferencia, utilizando una secuencia MLS filtrada como ruido rosa.

B. Elementos utilizados

Micrófono de medición: THE TT-3M, interfaz de audio: M-Audio Fast track Pro, grabadores digitales autónomos: Zoom H4, procesador de sistema: DBX DriveRack 360, software de medición acústica: Sat Live 1.6, medidor de distancia láser: Bosch, cables, pie de micrófono, soportes, etc.

C. Configuración general de la medición

El flujo de señal abarcaba un amplio rango de posibilidades con propósitos de resguardo y de posterior post procesamiento diferenciado. Es decir que además de obtener las respuestas al impulso con el software, se grabaron las mismas señales para un diferente y/o posterior procesamiento y/o adquisición de datos. Por otro lado, también se registró música para realizar una comparación subjetiva y perceptual de las diferentes instancias de alineamiento.

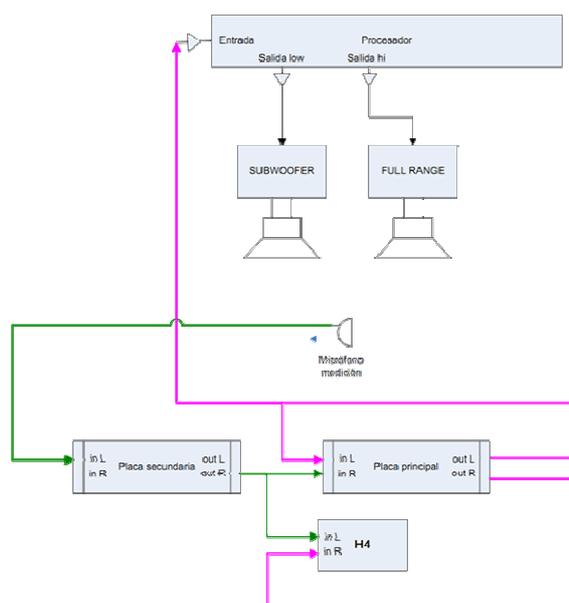


Fig. 9. Esquema del flujo de señales para las capturas de las respuestas al impulso.

D. Procedimientos aplicados

La captura de las respuestas al impulso se realizó por transferencia usando MLS filtrado, ya que es un algoritmo rápido de cálculo. Utiliza una señal llamada secuencia de longitud máxima, que tiene el mismo espectro que el ruido blanco. Debido a que el ruido blanco posee la misma densidad espectral de potencia a lo largo de toda la banda de frecuencias (la misma energía en el rango de 50 Hz a 100 Hz que en el rango de 5050 Hz a 5100 Hz), se aplica un filtro rosa, cuyo resultado presenta el mismo contenido de energía

para cada banda de octava (ahora el rango de 50 Hz a 100 Hz contiene tanta energía como el rango de 5 kHz a 10 kHz).



Fig. 10. Equipamiento usado en el flujo de señales para las capturas de las respuestas al impulso.

Esta señal es mucho más adecuada para mediciones acústicas, específicamente para las mensuras de parlantes o su interacción con la sala. Al utilizar un filtrado rosa con señal MLS se debe eliminar el filtro después de la medición para obtener el resultado correcto. De lo contrario, el resultado también contendrá la respuesta en frecuencia del filtro rosa.

E. Respuestas al impulso obtenidas

De acuerdo a lo comentado en el apartado sobre procedimientos aplicados se capturaron las respuestas al impulso de cada componente antes y después de cada una de las configuraciones de alineamiento. Los resultados para el sistema tal como viene de fábrica, en la posición y distribución de uso habitual, arroja los valores iniciales o de punto de partida. Se pueden apreciar los 24.263 ms que el subwoofer tiene por defecto y los 6.032 ms del monitor. Cabe aclarar que se usaron, para las mediciones, un único subwoofer y el monitor derecho en sus ubicaciones habituales en el estudio. No se usaron los otros cuatro monitores (LF, C, LS y RS) ya que todos ellos se encuentran a la misma distancia del punto de escucha principal (sweet spot), donde se colocó el micrófono de medición.

Con el sistema sin alinear se procedió a capturar la respuesta al impulso de ambos, monitor derecho y subwoofer en simultáneo, para su posterior procesamiento y análisis.

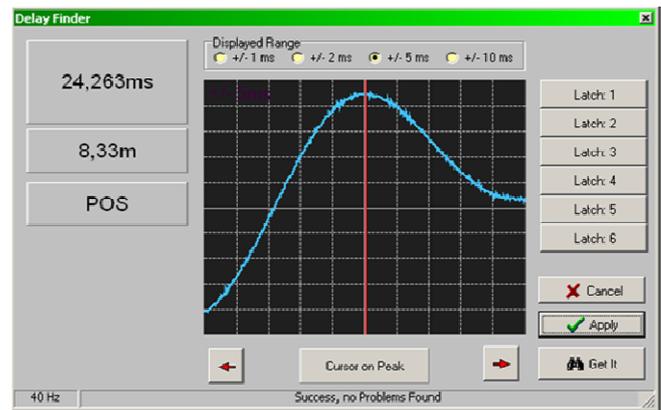


Fig. 11. Respuesta al impulso del subwoofer en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot).

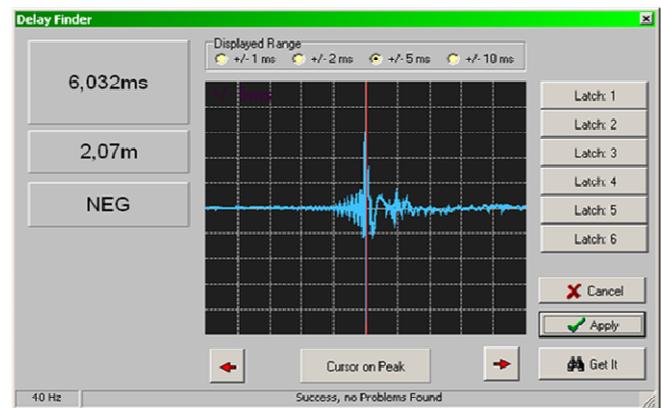


Fig. 12. Respuesta al impulso del monitor derecho en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot).

Una vez concluida esta primera captura se utilizó el procesador para retrasar el subwoofer y alinear en fase con el monitor derecho. El solapamiento de fase se efectuó en la frecuencia de 120 Hz, que es la de cruce de vías (frecuencia de crossover). Para que el alineamiento tenga validez se tomó como referencia el retraso del monitor y respecto de éste se procedió a ir retrasando el subwoofer hasta hacer coincidir las fases de ambos en 120 Hz (alineamiento clásico o tradicional).

Se aprecia que el subwoofer ahora se encuentra a 36.213 ms respecto de los 24.24 ms originales, lo cual permite que el solapamiento de fase sea efectivo con el monitor derecho en los 120 Hz. Con el sistema alineado solamente en fase se procedió a capturar la respuesta al impulso de ambos, monitor derecho y subwoofer en simultáneo, para su posterior procesamiento y análisis.

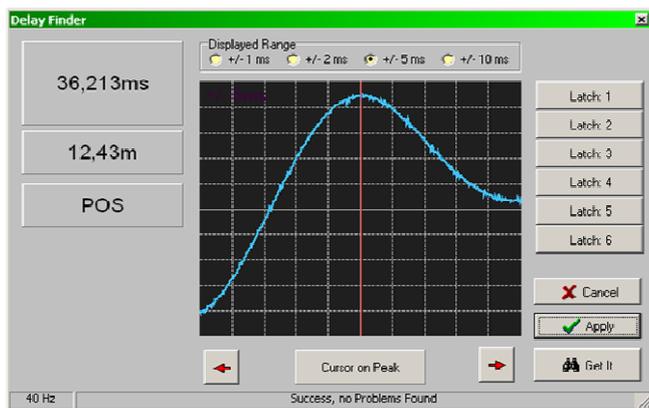


Fig. 13. Respuesta al impulso del subwoofer en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot) con el retraso correspondiente a la coincidencia de fase (alineamiento clásico).

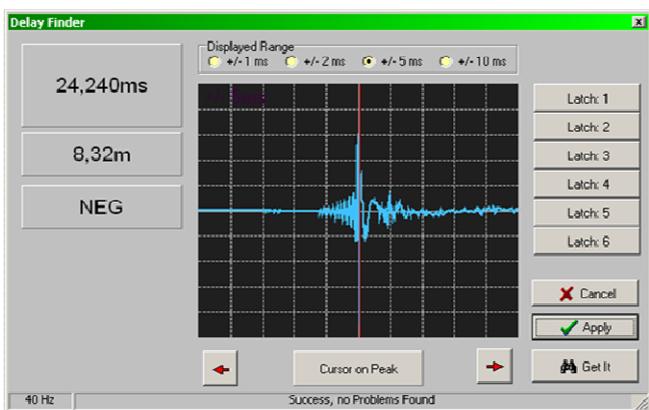


Fig. 14. Respuesta al impulso del monitor en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot) con el mismo retraso que el subwoofer (alineamiento en tiempo).

Por último, con el procesador, se dejó sin retraso el subwoofer, volviendo a sus 24.24 ms originales y se retrasó el monitor hasta ese valor, de esta manera el sistema que forman ambos componentes quedan alineados en tiempo absoluto y fase (Figura 14).

Con el sistema alineado solamente en tiempo absoluto y fase se procedió, nuevamente, a capturar la respuesta al impulso de ambos, monitor derecho y subwoofer juntos, para su posterior procesamiento y análisis.

V. ANÁLISIS

A. Herramientas

Para hacer el análisis, y evaluar los resultados en función de cuantificar las diferencias entre ambas formas de alineamiento, necesitábamos nuevas herramientas. Un trabajo de Zacharov propone, para controles de estudios de grabación de música, medir y evaluar el parámetro Claridad

a 40 ms (C40) [8]. Los programas tradicionales (Aurora, Dirac, Arta) evalúan las claridades propuestas en la norma ISO 3382. De ese limitante surge la necesidad de elaborar un software propio para evaluar Cn (Claridad a “n” milisegundos). Inicialmente lo usamos para calcular C50 y C80 y contrastar los valores que obteníamos con los programas tradicionales, a modo de control y calibración.

B. Desarrollo del software

El desarrollo completo está basado en Microsoft Excel 2003, pero sólo como interfaz gráfica de entrada y salida de datos. El corazón o motor de cálculo del software se realizó íntegramente en el entorno de programación VBA (Visual Basic para Aplicaciones), que viene por defecto en Excel a partir de su versión 5.

Los bloques (subrutinas) están conformados por:

- * Carga de IR: se implementó la apertura y carga de los archivos de audio de los impulsos (en formato de audio .WAV) con una interfaz similar a cualquier otro programa de Windows que permite búsqueda en directorios y unidades. Una vez ubicado el archivo se lo asignaba a una posición de memoria y desde ella se lo pasaba a una matriz para su uso definitivo. En esta etapa aparece la información específica del formato para su lectura y carga en la matriz (frecuencia de muestreo, resolución en bits, longitud, mono o estéreo, etc.). A título de curiosidad nuestro software, por el momento, está limitado a archivos de 8 bits, 16 bits y 24 bits, en cualquier frecuencia de muestreo y en el caso que el archivo sea estéreo, se puede elegir cuál canal procesar.

- * Detección del máximo: esta operación se realiza durante la carga de los valores a la matriz (guardando su posición de memoria) y permite elaborar las posteriores visualizaciones y procesamientos.

- * Inicio del impulso: al trabajar con una base de datos de 400 respuestas al impulso de todo tipo, entre ellas varias generadas por globos, hubo que refinar bien el inicio del mismo. Originariamente se tomaba el máximo como comienzo, pero dicho valor no era siempre el principio del impulso y se manifestaban errores de cálculo. Entonces se implementó un sistema manual de ubicación, que usaba una ventana con zoom como auxilio, y nos permitía definir dicho tiempo con resolución de una muestra. Posteriormente se programó un algoritmo que permitía fijar un umbral, respecto

del ruido de fondo, y buscar un salto importante por encima de esta cota para ubicar de forma automática el inicio del impulso.

* Claridad C80 y C50: una vez cargado el impulso y establecido su inicio queda calcular la integral de la relación de energías al cuadrado en los intervalos de tiempo correspondientes. El método de integración utilizado fue el de la regla de Simpson compuesta. La razón fue que las fórmulas de Newton-Cotes no son apropiadas para intervalos de integración grandes y el método de Simpson normal arroja errores cuando las variaciones son grandes. Con los algoritmos funcionando, la comparación de los resultados obtenidos con los programas tradicionales arrojaba, con algunos impulsos, una diferencia sin un patrón definido; por ello hubo que elaborar una estrategia para evaluar hasta dónde el “infinito” es tal.

* Final de la señal: originariamente se estableció como “infinito” la última muestra de la señal del impulso cargada, pero dadas las diferencias respecto de los valores comparados con software tradicional empezamos a evaluar hasta dónde la suma de ruido al final interfería con el resultado. Finalmente, y después de varias pruebas realizadas, detectamos que nuestro “infinito” era estable y coherente pudiendo utilizarse sin problema.

* Claridad Cn (usuario): el software, en esta instancia, nos permitía calcular los valores de la Claridad a 50 ms y 80 ms. Modificamos el límite de integración y calculamos el C40 buscado. A modo de prueba, se añadió la posibilidad de cambiar el límite de integración a conveniencia (Cn).

* Exportación de resultados masiva: al tener la posibilidad de programar las herramientas necesarias, se implementaron una serie de “procesamientos en masa” que nos permitía hacer comparaciones y verificaciones con la base de datos de 400 respuestas al impulso. De esta forma se obtenían, simplemente estableciendo los parámetros que necesitábamos cambiar en cada etapa, gran cantidad de tablas o gráficos para cotejar.

VI. NUEVO PARÁMETRO

Al contrastar los valores de C tradicionales con el nuevo C40 propuesto por Zacharov [8], y por la limitación que presenta la Claridad en los casos de reflexiones potentes en el entorno del límite de

integración, surgió la curiosidad de calcular el

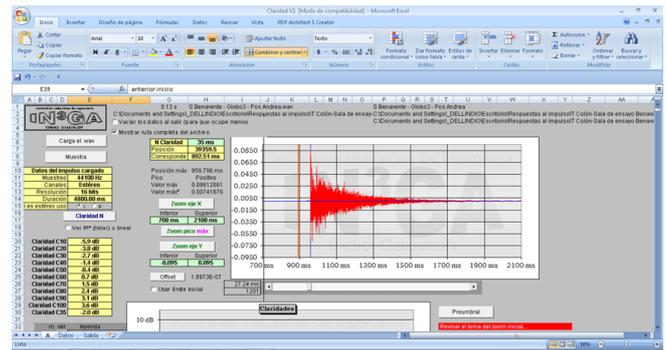


Fig. 15. Interfaz del software implementado para el análisis y verificación de los procedimientos de alineamiento presentados.

parámetro con distintos intervalos de integración. Dadas las aplicaciones específicas de este trabajo evaluamos la Claridad a 10 ms, y acumulando progresivamente de a 10 ms el límite de integración, hasta la Claridad a 100 ms (desde C10 hasta C100 respectivamente). A la curva que representa dichos parámetros la llamamos Evolución de la claridad (ver figura 16).

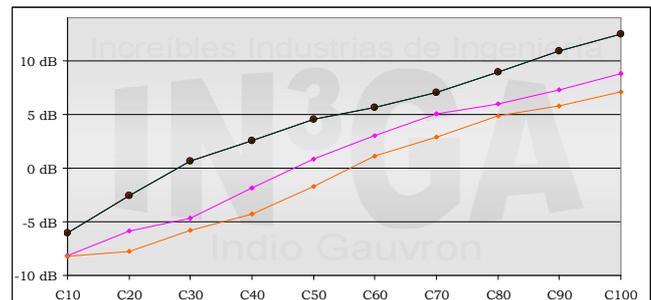


Fig. 16. Valores del parámetro Evolución de la claridad para un sistema con y sin alineamiento. Magenta: sistema sin alinear. Naranja: alineado en fase. Verde: alineado en tiempo y fase.

A. Análisis propiamente dicho

De acuerdo a los trabajos de Hirsch [9] y Green [10] relativos al análisis temporal de señales basado en procesos cruzados entre canales (que evalúan la sensibilidad de los sujetos al patrón temporal), el umbral de detección del retardo entre señales queda definido en 2 ms, independientemente de la frecuencia central de los sonidos. Las diferencias en el patrón temporal son percibidas como cambios en la calidad del sonido [3]. Lo anterior define la sensibilidad del oído a los sistemas carentes de alineamiento en tiempo y el

consecuente cambio en las características del sonido resultante; muy específicamente a la pérdida de fidelidad.

El análisis de las respuestas al impulso obtenidas en el alineamiento del estudio arrojaron los valores de Evolución de la claridad que se muestran en la figura 16. Se contrastó el sistema sin alinear (tal cual viene de fábrica), alineado en fase (alineamiento clásico) y alineado en tiempo y fase (nuestra propuesta). Como se puede observar, el valor de la Claridad aumenta a medida que el intervalo de integración adquiere un valor más grande y la Evolución de la claridad sigue una curva de orden más alto con el sistema alineado en tiempo y fase. Es innegable que los intervalos de integración para controles de estudio de grabación de música, usando el parámetro Claridad, tienen su mayor incidencia entre C10 y C40 (10 ms y 40 ms respectivamente). En dicho rango es donde se pueden apreciar las mayores diferencias respecto de los diferentes alineamientos efectuados y medidos.

Paradójicamente, o no tanto, el sistema sin alinear presenta valores de Evolución de la claridad superiores al mismo sistema alineado sólo en fase. Resulta lógico pensar que si el subwoofer, que ya es un componente atrasado en tiempo por su naturaleza, se lo atrasa aún más, con el propósito de hacer coincidir las fases, el sistema termina perdiendo Claridad.

B. Corolario y análisis

Para visualizar los alcances del tipo de alineamiento propuesto en este trabajo veremos cómo se modifica la respuesta de un bombo tomado con un micrófono Shure Beta 52 en un diagrama TEF (tiempo, energía, frecuencia) de la señal. En la experiencia se utilizó un crossover en 120 Hz con un filtro Linkwitz-Riley de 4^o orden.

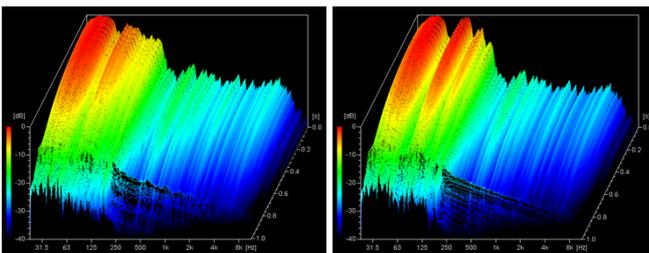


Fig. 17. Diagrama TEF correspondiente al bombo registrado con un micrófono Beta 52 (izquierda). Subwoofer retrasado sin alinear (derecha).

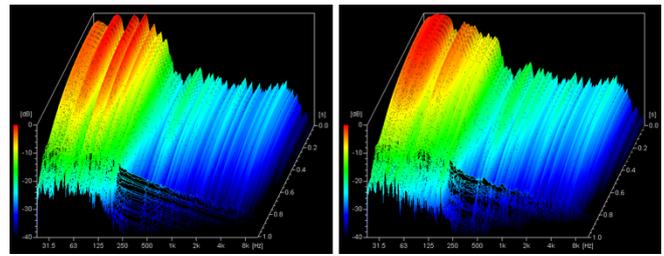


Fig. 18. Diagrama TEF correspondiente al Subwoofer retrasado; alineado sólo en fase (izquierda). Alineado en tiempo y fase (derecha).

Las figuras anteriores muestran los cambios en la señal producidos a partir de los distintos tipos de alineamiento. Se observa que el alineamiento en tiempo y fase es el único que conserva las características de la señal original.

VII. CONCLUSIONES

Como se predijo en la hipótesis, el parámetro acústico físico Claridad sirvió como herramienta para cuantificar y evaluar el alineamiento de un sistema de monitores con subwoofer en un control de estudio de grabación de música. En estos espacios encontramos valores de C80 muy altos, del orden de los 30 dB. Sin embargo, en un promedio de los casos estudiados, hallamos valores superiores a 10 dB -valor que sugerimos para el parámetro aplicable a controles de estudios de grabación-. El valor de C80 en los estudios está por encima de cualquier otro encontrado como estándar para otros tipos de usos musicales del espacio [2], [4] - [7]. En el control de un estudio de grabación el técnico u oyente necesita una escucha óptima para tomar decisiones objetivas en función de lo que oye, entonces el valor debe ser necesariamente alto.

En el caso específico de los controles de estudio para grabación de música, la Claridad a estudiar debería tener límites de integración bajos (entre 10 ms y 40 ms) motivo por el cual propusimos extender el análisis del parámetro por debajo del C40 y considerar su evolución a partir de la evaluación de un nuevo parámetro: la Evolución de la claridad.

Por último, se mostró para el caso de un instrumento musical, las variaciones en tiempo, energía, frecuencia generadas por el sistema sin alinear, alineado en fase y alineado en tiempo y fase.

A. Trabajos a futuro

A futuro se pretende continuar y profundizar el desarrollo de esta investigación. En principio, se plantean tres objetivos.

1. Extender en el espectro el parámetro Claridad y expresar la Evolución de la claridad en función de las distintas bandas de frecuencias por octava y tercios de octava.

2. Evaluar los distintos tipos de alineamiento en sistemas grandes de vivo.

3. Durante el transcurso de este trabajo se realizaron grabaciones de fragmentos musicales en todas las situaciones de alineamiento estudiadas, resta escuchar y evaluar las selecciones.

AGRADECIMIENTOS

Iván Marcovik (Estudio GlazGlas)

Adrián Rallap (Instituto de Sonido ECOS)

Nicolás Zlotnik (NZ Sonido)

Marcelo Cosnard (Biblioteca Laura Manzo-
Universidad Nacional de Quilmes)

Referencias

- [1] Bob McCarthy. *Sound Systems: Design and Optimization*, Focal press. 2007.
- [2] Walter Reichardt, Alim Abdel, Onsy y W. Schmidt. "Definition und Messgrundlage eines objektiven Masses zur Ermittlung der Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit beim Musikdarbietung", *Acustica*, Vol 32, 126–137. 1975.
- [3] Gustavo Basso. *Percepción auditiva*. UNQ Editorial, Argentina. 2006.
- [4] Michael Barron. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E & FN Spon, London. 1993.
- [5] W. Lehmann. Technical communication. *Acustica* 45. 1986.
- [6] Higiní Arau. *ABC de la acústica arquitectónica*, CEAC, Barcelona. 1999.
- [7] Leo Beranek. *Concert and Opera Halls: How they Sound*, Acoustical Society of America, New York. 1996.
- [8] Nick Zacharov. "An Overview of Multichannel Level Alignment". AES 15th International Conference. Copenhagen, Denmark. 1998.
- [9] Ira Hirsh. "Auditory perception of temporal order", *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol 31, Nro 6. 1959.
- [10] David Green. "Temporal acuity as a function of frequency", *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol 54, Nro 2. 1973.