

AVANCES
del audio en
Latinoamérica.



AUDIO ENGINEERING SOCIETY
SECCIÓN PERÚ

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL ALINEAMIENTO EN TIEMPO ABSOLUTO A PARTIR DEL PARÁMETRO ACÚSTICO CLARIDAD

Indio Gauvron - María Andrea Farina

- Indio Gauvron* - María Andrea Farina -**

*Instituto de Sonido ECOS, Instituto Terciario Tamaba, Buenos Aires, Argentina
in_dio_ar@yahoo.com.ar

**Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Artes - IPEAL, La Plata, Argentina
mfarina@empleados.fba.unlp.edu.ar

Resumen— En el presente trabajo se comparan los resultados obtenidos al evaluar el alineamiento tradicional, usado en los sistemas de vivo, y el alineamiento en tiempo absoluto. El alineamiento, más allá de solapar vías en fase de los subwoofers/s en un estudio y en sistemas de vivo, incide en los valores de los parámetros acústicos Claridad de palabra (C50) y Claridad musical (C80). A partir de los valores medidos utilizando estos parámetros, se propone emplear distintos límites de integración con el objeto de cuantificar la eficiencia de un tipo de alineamiento con respecto al otro.

Palabras clave— *alineamiento, Claridad, subwoofer.*

Abstract— This work compares the results obtained from traditional alignment, used in the Live Sound environment, to the absolute time alignment. Apart from overlapping frequencies with subwoofer/s in Studio or Live Sound Systems, alignment impacts the Clarity Indexes for speech (C50) and music (C80). Based on measurements taken while evaluating alignment with these parameters, it is proposed to use different integration limits to quantify the efficiency of one type of alignment with respect to the other.

Keywords— *alignment, Clarity Index, subwoofer.*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de sonido alineados en tiempo absoluto presentan mejoras en la definición y claridad de los sonidos, especialmente en la zona de las frecuencias medias y altas del espectro.

Para verificar esta hipótesis se consideraron sistemas con distintos tipos de alineamiento con el objeto de establecer los rasgos de cada uno de ellos. El parámetro acústico utilizado para la evaluación es la Claridad (Reichardt, et al., 1975).

II. ALINEAMIENTO

En la práctica profesional se utilizan dos tipos de alineamiento:

- **Sistemas demorados:** con el objetivo de cubrir grandes distancias con respecto a la fuente en el escenario, se utiliza un sistema amplificado cada cierto tramo. Como la distancia entre el oyente y cada uno de estos sistemas es diferente, el más próximo al espectador debe retrasarse de modo que el tiempo de arribo del sonido desde los distintos sistemas coincida.
- **Sistemas de múltiples vías (relación tiempo-fase):** los parlantes de bajas frecuencias tienen, por razones físicas, una respuesta demorada en el tiempo. Un tweeter, con respecto al reproductor de medios, se haya adelantado en tiempo n longitudes de onda. El reproductor

de medios, con respecto al woofer, se haya adelantado en tiempo n longitudes de onda. Como físicamente no existe la posibilidad de adelantarse en el tiempo, el woofer resulta el reproductor más atrasado de todo el sistema, le sigue el reproductor de medios y, por último, el tweeter. Por este comportamiento, en un sistema multiamplificado existe la necesidad de alinear dichos componentes en fase (Figura 1).

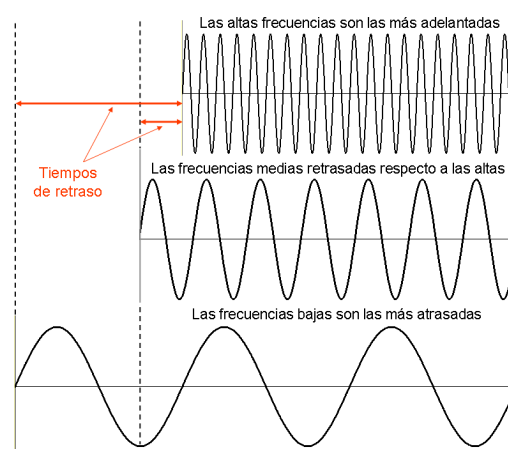


Fig. 1 Relación tiempo fase entre vías de un sistema

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, extender el rango de los sistemas con mayor rendimiento. Para alcanzar este objetivo se han utilizado hasta la actualidad diversas aproximaciones, por ejemplo, suspensión acústica, línea de transmisión, radiador pasivo, bass reflex, líneas de retardo, filtros acústicos de orden n y reflector Carlson.

El comportamiento físico de estos diseños presenta un retraso en tiempo. Como el subwoofer trabaja junto a otros sistemas de rango completo es necesario compensar esa diferencia. Existe una metodología clásica 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 (McCarthy, 2007). La metodología está tan instaurada que hasta los crossovers analógicos poseen, para su banda de bajas frecuencias, un filtro pasa todo que agrega un retraso adicional para alinear en fase (LF delay).

En este trabajo se propone el alineamiento en tiempo absoluto; el procedimiento es inverso al método clásico consiste en retrasar el resto de los componentes tomando como referencia el retardo original del subwoofer (el componente más atrasado del sistema).

III. PARÁMETROS ACÚSTICOS FÍSICOS

Para estudiar la acústica de un espacio se utilizan modelos que explican su comportamiento. Una alternativa es realizar mediciones con instrumental específico. 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 con el objeto de caracterizar el lugar.

Los parámetros físicos pueden clasificarse en cuatro grupos: temporales, niveles de energía globales, espaciales y razones de energía o cocientes energéticos. En la tabla I 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	•Tiempo de Reverberación (T_{30}) •Reverberación Temprana (EDT)
Niveles de energía globales	Cantidad de energía total de un evento	•Nivel de Presión Sonora (Lp) •Nivel Sonoro Normalizado (G)
Espaciales	Distribución de la energía acústica en el espacio	•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	•Claridad (C_{50} , C_{50}) •Definición (D_{50}) •Centro del Tiempo (T_G)

Razones de energía

Las razones de energía 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, se definen 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 (Reichardt, et al., 1975). Se la define matemáticamente de acuerdo con 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 auto correlación (> 30 ms) (Basso).

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 C_{80} , modificándose solo los límites de integración.

Se aplica a la voz hablada o para señales de baja auto correlación (< 30 ms) (Ibíd.).

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

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:

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

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) 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 producen un mayor número de reflexiones que provienen de superficies cercanas a la fuente o al oyente.

Algunos autores han establecido valores óptimos de acuerdo con el uso musical de un espacio. Para el caso de las salas de concierto, Barron establece que el valor óptimo de C_{80} para frecuencias medias se encuentre entre $-2 \text{ dB} < C_{80} < 2 \text{ dB}$ (Basso, 2006). Reichardt, quien definió el parámetro, sostiene que su valor no debe ser nunca inferior a 0 dB (Reichardt, et al., 1975). Por su parte, Lehmann sugiere que no debe ser inferior a los 3 dB (Lehmann, 1986). Arau lo fija, extendiendo el límite superior de Barron, entre $-2 \text{ dB} < C_{80} < 4 \text{ dB}$. Para salas de ópera, Arau establece como valores óptimos entre $2 \text{ dB} < C_{80} < 6 \text{ dB}$ y para salas de teatro y conferencias $C_{80} > 6 \text{ dB}$ (Arau, 1999).

Para este trabajo se utilizará la Claridad como parámetro que permita evaluar la definición de los sonidos en los distintos tipos de alineamiento.

IV. METODOLOGÍA

A. Medición en estudio

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

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 y soportes (figuras 2 y 3).

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 (figura 2).

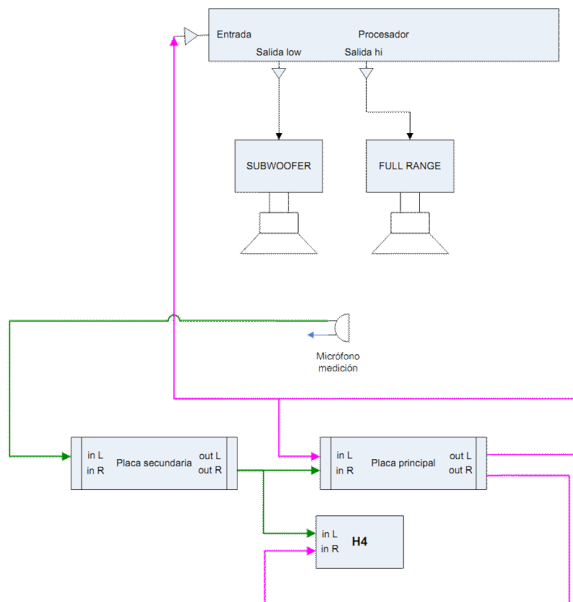


Fig. 2 Esquema del flujo de señales para las capturas de las respuestas al impulso



Fig. 3. Equipamiento usado en el flujo de señales para las capturas de las respuestas al impulso

D. Procedimientos aplicados

Las respuestas al impulso se realizaron mediante el método de transferencia, utilizando una secuencia MLS filtrada con ruido rosa. El filtro se eliminó posteriormente para que la señal no contuviera la respuesta en frecuencia del filtro rosa. Esta señal es adecuada para mediciones acústicas, específicamente para las mensuras de parlantes o su interacción con la sala.

E. Respuestas al impulso obtenidas

Los resultados para el sistema sin ningún tipo de alineamiento, en la posición y distribución de uso habitual, arrojaron los valores iniciales. Se observan los 24.263 ms que el subwoofer tiene por defecto (figura 4) y los 6.032 ms del monitor (figura 5). Para las mediciones se utilizó 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.

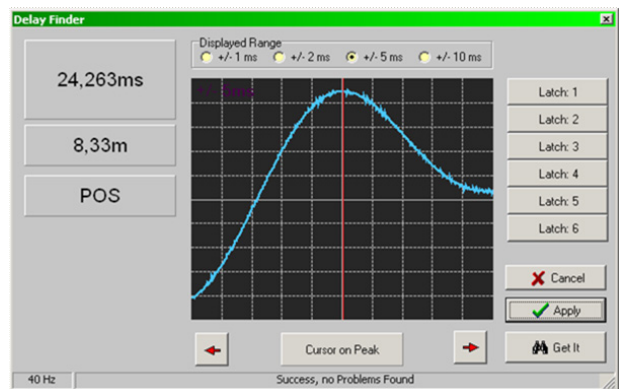


Fig. 4. Respuesta al impulso del subwoofer en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot)

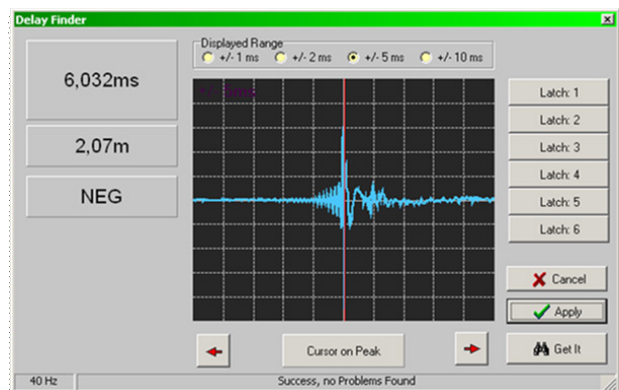


Fig. 5. Respuesta al impulso del monitor derecho en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot)

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

Una vez concluida esta primera captura se utilizó el procesador para retrasar el subwoofer y alinear en fase con el monitor. El solapamiento de fase se efectuó en la frecuencia de cruce de vías: 120 Hz. Se tomó como referencia el retraso del monitor y se atrasó el subwoofer hasta hacer coincidir las fases de ambos en 120 Hz (alineamiento clásico o tradicional).

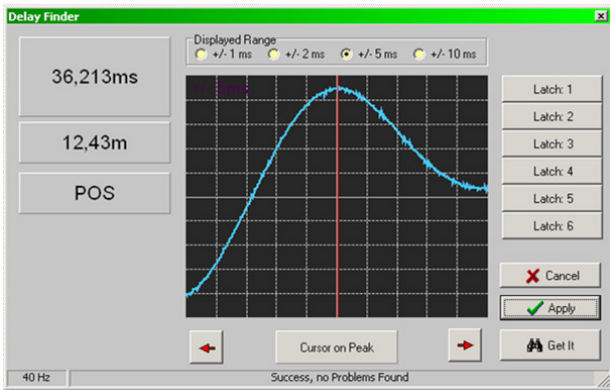


Fig. 6. Respuesta al impulso del subwoofer en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot) con el retraso correspondiente a la coincidencia de fase (alineamiento clásico)

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 (figura 6). Con el sistema alineado solamente en fase se procedió a capturar la respuesta al impulso del monitor derecho y el subwoofer en simultáneo.

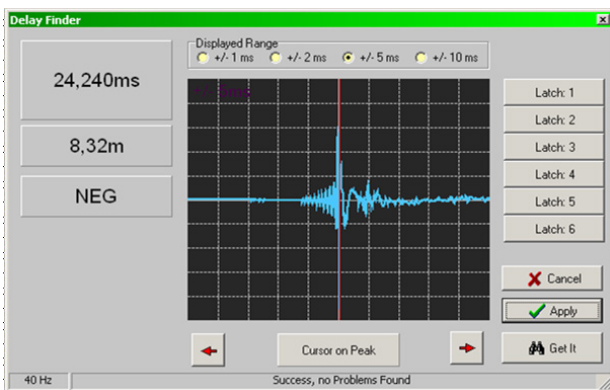


Fig. 7. Respuesta al impulso del monitor en su sitio de uso habitual y la configuración con el micrófono de medición en la posición de escucha (sweet spot) con el mismo retraso que el subwoofer (alineamiento en tiempo)

Por último, con el procesador, se dejó sin retraso el subwoofer, volviendo a sus 24.24 ms originales y se demoró el monitor hasta ese valor para que el sistema que forman ambos componentes quedará alineado en tiempo absoluto y fase.

Con el sistema alineado en tiempo absoluto y fase se procedió, como en los casos anteriores, a capturar la respuesta al impulso del monitor derecho y del subwoofer juntos (Figura 7).

V. ANÁLISIS

Herramientas

Un trabajo de Zacharov propone, para controles de estudios de grabación de música, medir y evaluar el parámetro Claridad a 40 ms (C40) (Zacharov, 1998). Los programas tradicionales (Aurora, Dirac, Arta) evalúan las claridades propuestas en la norma ISO 3382, por lo tanto, para evaluar la Claridad con otros límites de integración Cn (Claridad a "n" milisegundos) se generó un software ad hoc.

Desarrollo del software

Para el análisis de las respuestas al impulso obtenidas se desarrolló software específico en el entorno de programación VBA (Visual Basic para Aplicaciones). El mismo permite la carga de las respuestas al impulso con una interfaz similar a cualquier otro programa de Windows. Admite análisis de: Claridad C80 y C50; además, y por la necesidad surgida, Claridad Cn (usuario).

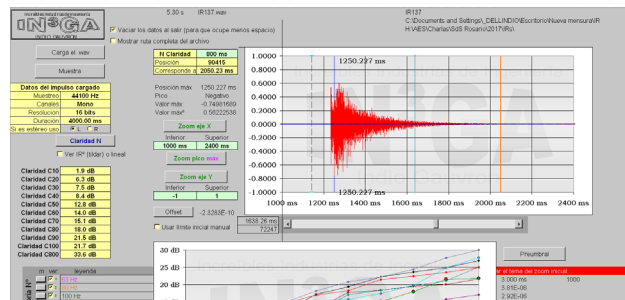


Fig. 8. Interfaz del software implementado para el análisis y verificación de los procedimientos de alineamiento presentados.

VI. CLARIDAD

Al contrastar los valores de C tradicionales con el C40 propuesto por Zacharov (Ibis), y por la limitación que presenta la Claridad en los casos de reflexiones potentes en el entorno del límite de integración (Basso, 2007), se calculó el parámetro con distintos intervalos de integración. Dadas las aplicaciones específicas de este trabajo se evaluó la Claridad a 10 ms acumulando progresivamente con este valor el límite de integración, hasta 100 ms. La curva que representa dichos parámetros se define como Evolución de la claridad (figura 9).

A. Análisis

De acuerdo con los trabajos de Hirsch (1959) y Green (1973) 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 (Basso, 2006). Lo anterior verifica la sensibilidad del oído a los sistemas

carentes de alineamiento en tiempo y el consecuente cambio en las características del sonido resultante.

El análisis de las respuestas al impulso obtenidas con los distintos tipos de alineamiento realizadas en el estudio arrojó los valores de Evolución de la claridad que se muestran en la figura 9. Se contrastó el sistema sin alinear, alineado en fase (alineamiento clásico) y alineado en tiempo y fase (absoluto). 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. Los intervalos de integración más representativos para la Claridad en controles de estudio de grabación de música están entre 10 ms y 40 ms (C10 y C40 respectivamente). En dicho rango es donde se pueden apreciar las mayores diferencias respecto de los diferentes alineamientos medidos.

El sistema sin alinear presenta valores de Evolución de la claridad superiores al mismo sistema alineado sólo en fase: si al subwoofer se lo atrasa con el propósito de hacer coincidir las fases, el sistema pierde Claridad. alineado sólo en fase: si al subwoofer se lo atrasa con el propósito de hacer coincidir las fases, el sistema pierde Claridad.

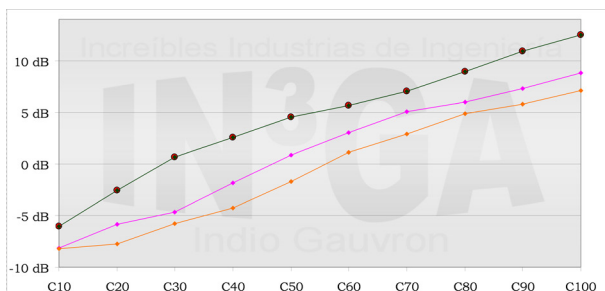


Fig. 9. Valores del parámetro Evolución de la claridad para un sistema con y sin alineamiento. Magenta: sistema sin alinear. Naranja: alineado en fase. Verde: alineado en tiempo y fase

B. Corolario

Para visualizar los alcances del tipo de alineamiento propuesto en este trabajo, en las figuras 10 y 11 se observa cómo se modifica la respuesta de un bombo tomado con un micrófono Shure Beta 52 en un diagrama TEF de la señal. En la experiencia se utilizó un crossover en 120 Hz con un filtro Linkwitz-Riley de 4° orden.

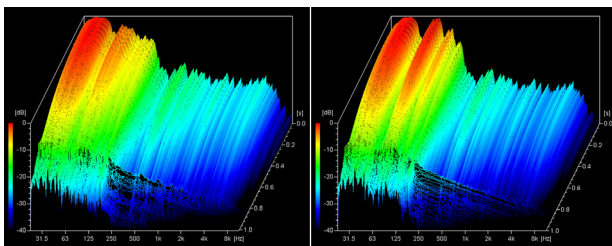


Fig. 10. Diagrama TEF correspondiente al bombo registrado con un micrófono Beta 52 (izquierda). Subwoofer retrasado sin alinear (derecha)

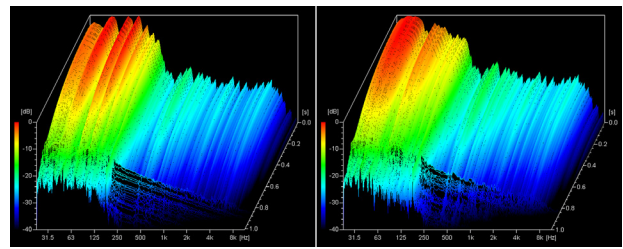


Fig. 11. Diagrama TEF correspondiente al Subwoofer retrasado; alineado sólo en fase (izquierda). Alineado en tiempo y fase (derecha)

En las figuras se muestran los cambios en la señal producidos a partir de los distintos tipos de alineamiento. Se observa que el alineamiento absoluto (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 los valores de C80 son muy altos, del orden de los 30 dB. Sin embargo, en un promedio de los casos estudiados, los valores son superiores a 10 dB - valor sugerido 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 (Reichardt, 1975; Barron, 1986; Beranek, 1996). En el control de un estudio de grabación el técnico u oyente necesita una escucha neutral para tomar decisiones objetivas en función de lo que oye por lo tanto el valor de la Claridad debiera 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 se extendió el análisis del parámetro por debajo de C40 y se consideró una variedad de límites de integración desde 10 ms hasta 100 ms.

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

A. Trabajos a futuro

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

- Extender el parámetro Claridad en el espectro y expresar la Evolución de la claridad en función de las distintas bandas de frecuencias por octava y tercios de octava.
- Evaluar los distintos tipos de alineamiento en

sistemas grandes de vivo.

- Considerar la incidencia de los distintos tipos de alineamiento en fragmentos musicales.

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

- Arau, H. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: CEAC.
- Barron, B. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon.
- Basso, G. (2006). *Percepción auditiva*. Argentina: UNQ Editorial.
- ----- *Salas para música y prosa*. Mimeo.
- Beranek, B. (1996). *Concert and Opera Halls: How they Sound*. New York: Acoustical Society of America.
- Green, D. (1973). *Temporal acuity as a function of frequency*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol 54, Nro 2.
- Hirsh, I. (1959). *Auditory perception of temporal order*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol 31, Nro 6.
- Lehmann, W. (1986). Technical communication. *Acustica* 45.
- McCarthy, B. (2007). *Sound Systems: Design and Optimization*. Focal Press.
- Reichardt, W; Abdel, A; Onsy, y Schmidt, W. (1975). *Definition und Messgrundlage eines objektiven Masses zur Ermittlung der Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit beim Musikdarbietung*. *Acustica*, Vol 32, p.126– 137.
- Zacharov, N. (1998). *An Overview of Multichannel Level Alignment*. AES 15th International Conference. Copenhagen, Denmark.