

DISEÑO Y EVALUACIÓN OBJETIVA DE FILTROS BINAURALES

Oscar A. Ramos^{a,b}, Mariano Araneda^a y Fabian Tommasini^{a,b}

^a*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, Unidad Asociada del CONICET y Universidad Tecnológica Nacional, Regional Córdoba. Maestro Lopez esq. Cruz Roja Argentina, 5016 Córdoba, Argentina, oramos@scdt.frc.utn.edu.ar.*

^b*Miembro del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)*



CINTRA

*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica,
Unidad Asociada del CONICET*



CONICET

*Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas*



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Córdoba

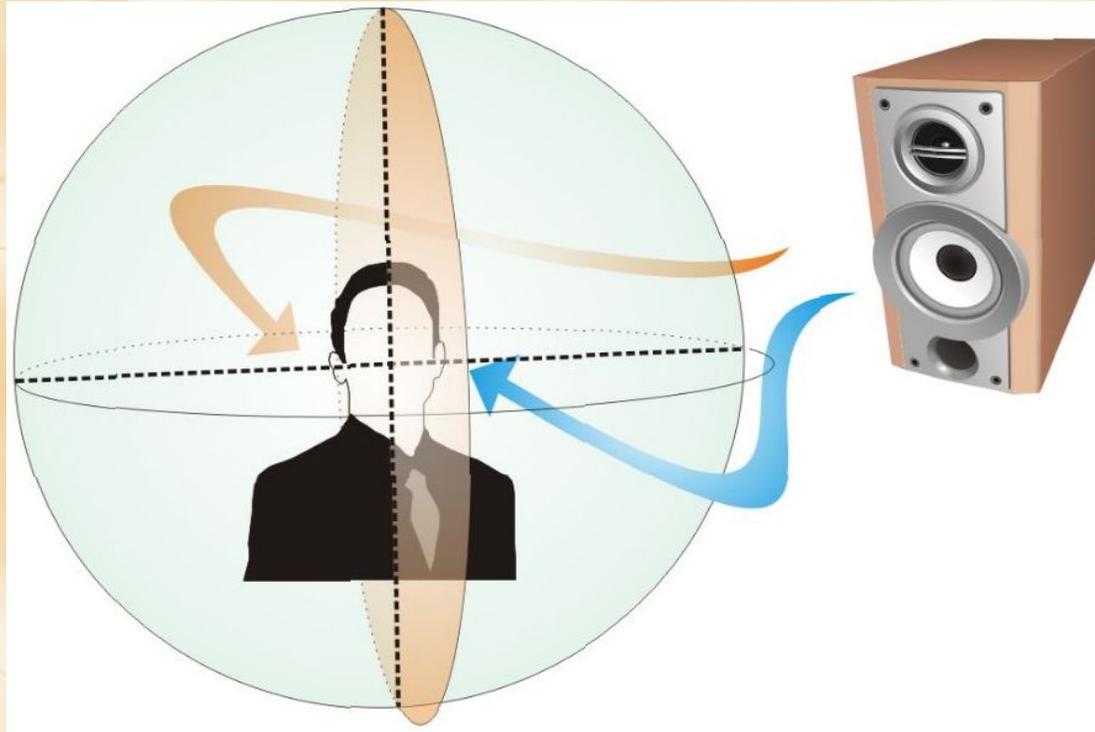
*Universidad Tecnológica Nacional,
Regional Córdoba*

Resumen

- *Las ondas sonoras que llegan a los tímpanos de un oyente, contienen las claves fundamentales que un ser humano utiliza para localizar una fuente sonora en el espacio. Las Respuestas Impulsivas de Cabeza (HRIR) –medidas entre una fuente sonora y los tímpanos- contienen las claves mencionadas. En el contexto de un Sistema de Realidad Acústica Virtual (SRAV), es crítico modelar las HRIR de manera de poder sintetizar sonidos –que escuchados con auriculares- evoquen la sensación que provocaría una fuente sonora en campo libre.*
- *Este trabajo propone modelar las HRIR mediante filtros IIR, diseñados a partir de un procedimiento iterativo propuesto por Steiglitz-McBride.*
- *Para evaluar objetivamente el modelo, se analizan las claves mencionadas y se utiliza como criterio de aceptabilidad las “mínimas diferencias notables” (jnd)*

¿Qué es importante que reflejen los modelos de las HRIR?

- *Diferencia de Tiempo Interaural: ITD (Interaural Time Difference)*
- *Diferencia de Nivel Interaural : ILD (Interaural Level Difference)*
- *Perfiles Espectrales*



¿Cómo se puede evaluar el modelo?

- **Subjetivamente:**

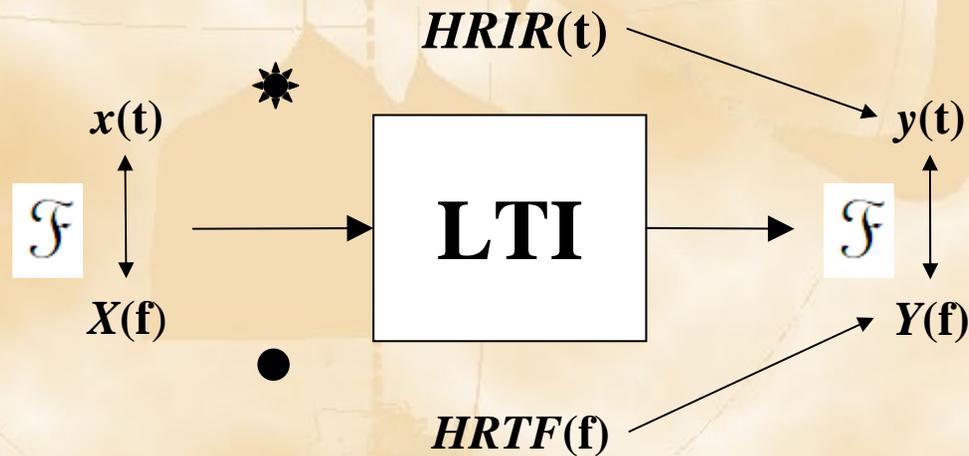
Se evalúa el rendimiento de los sujetos para localizar con mayor o menor precisión una fuente en el espacio mediante pruebas psicoacústicas

- **Objetivamente:**

Utilizando como criterio de aceptabilidad las “mínimas diferencias notables” (jnd) derivadas de estudios psicoacústicos

HRIR - HRTF

- ***HRIR se puede considerar como la respuesta impulsiva de un sistema lineal e invariante en el tiempo (LTI).***
- ***Las HRTF pueden ser modeladas por filtros digitales.***



Descripción del modelo



$$X(z) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} x[j]z^{-j}$$

$$Y(z) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} y[j]z^{-j}$$

El objetivo es, diseñar un filtro IIR de la forma:

$$H(z) = \frac{N(z)}{D(z)} = \frac{\sum_{k=1}^M b_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

Tal que sea mínima la siguiente función:

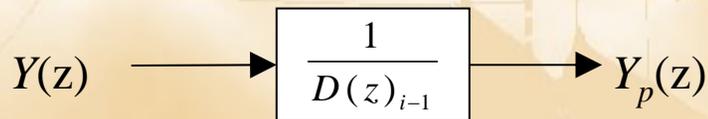
$$\sum e_j^2 = \frac{1}{2\pi j} \oint \left| X(z) \frac{N(z)}{D(z)} - Y(z) \right|^2 \frac{dz}{z}$$

El método iterativo de Steiglitz-McBride

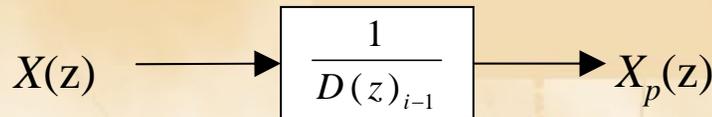
$$\oint \left| X(z) \frac{N(z)_i}{D(z)_{i-1}} - Y(z) \frac{D(z)_i}{D(z)_{i-1}} \right|^2 \frac{dz}{z} \quad i = 1, 2, 3, \dots,$$

- **En cada iteración se filtra las señales $X(z)$ e $Y(z)$ con un filtro todo-polo con función de transferencia**

$$\frac{1}{D(z)_{i-1}}$$

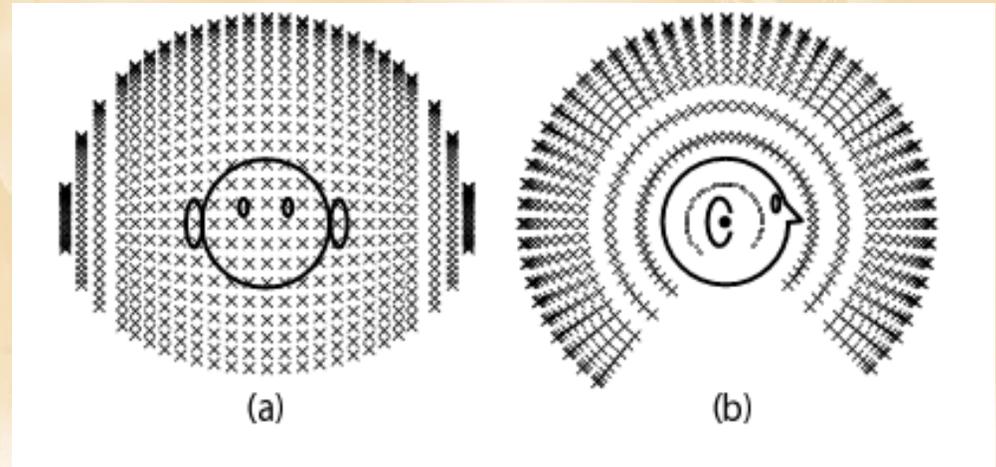
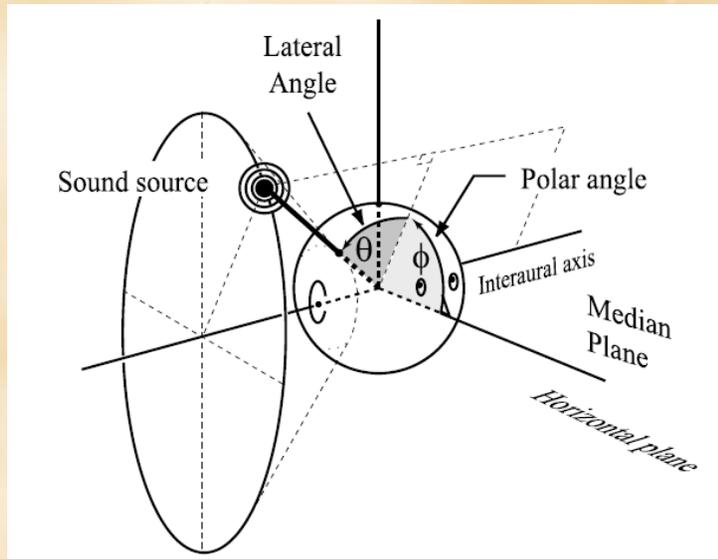


$$Y_p(z) = \frac{Y(z)}{D(z)_{i-1}}$$



$$X_p(z) = \frac{X(z)}{D(z)_{i-1}}$$

Base de datos de HRIR medidas en el Center for Image Processing and Integrated Computing (CIPIC) de la Universidad de California



- **47 sujetos**
- **1250 posiciones**
- **Elevación Φ en escalones de 5.625° entre -45° y $+230.625^\circ$**
- **Acimut θ -80° , -65° , -55° , desde -45° a $+45^\circ$ en escalones de 5° , $+55^\circ$, $+65^\circ$ y $+80^\circ$**

Evaluación del modelo

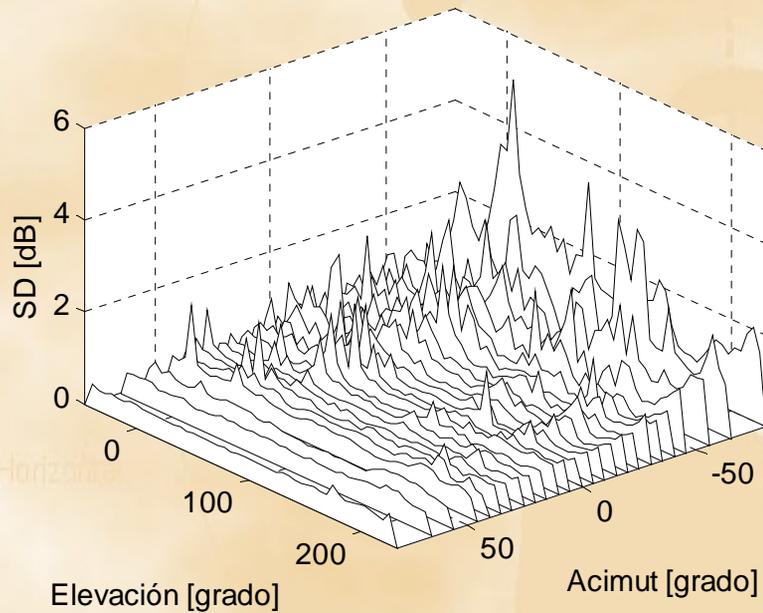
Distorsión Espectral

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \left(20 \log |H_e(\omega_i)| - 20 \log |H_a(\omega_i)| \right)^2}$$

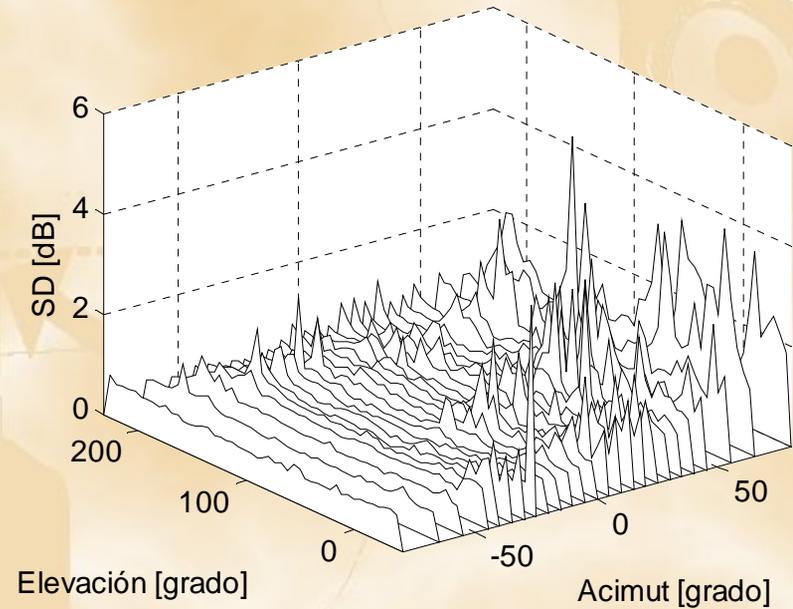
Distorsión de Fase

$$PD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \left(\angle |H_e(\omega_i)| - \angle |H_a(\omega_i)| \right)^2}$$

Distribución del error según la ubicación de la fuente

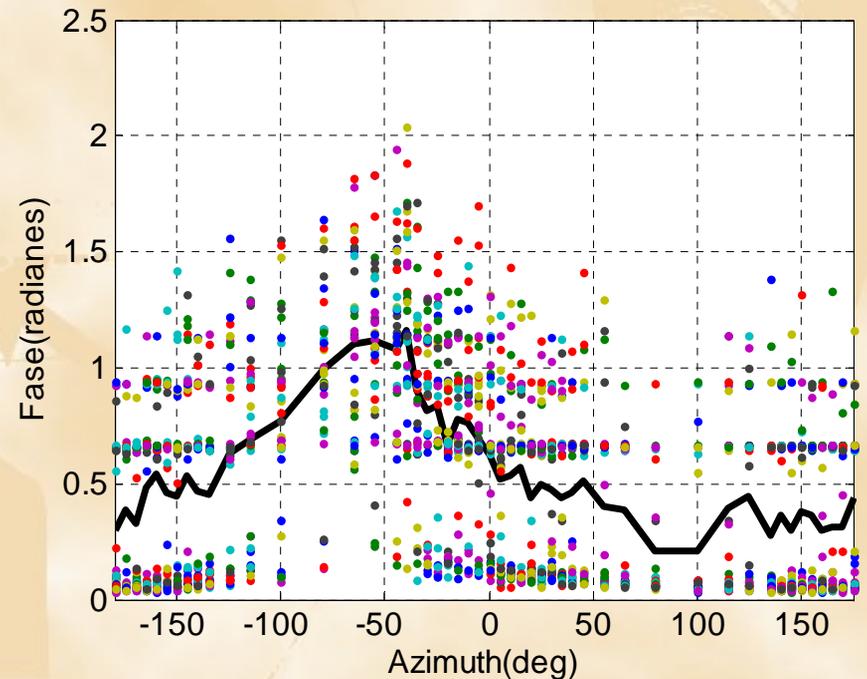
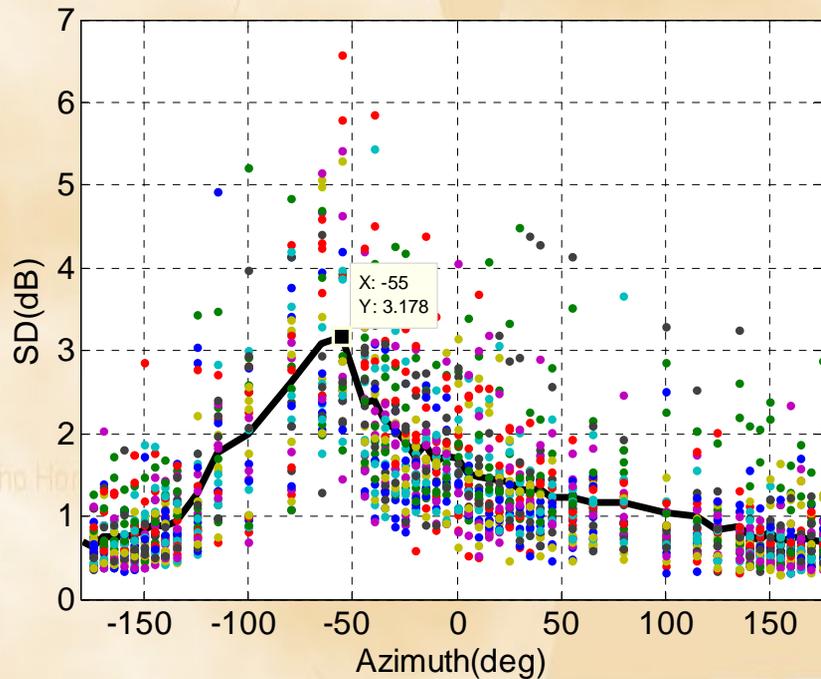


Oído izquierdo

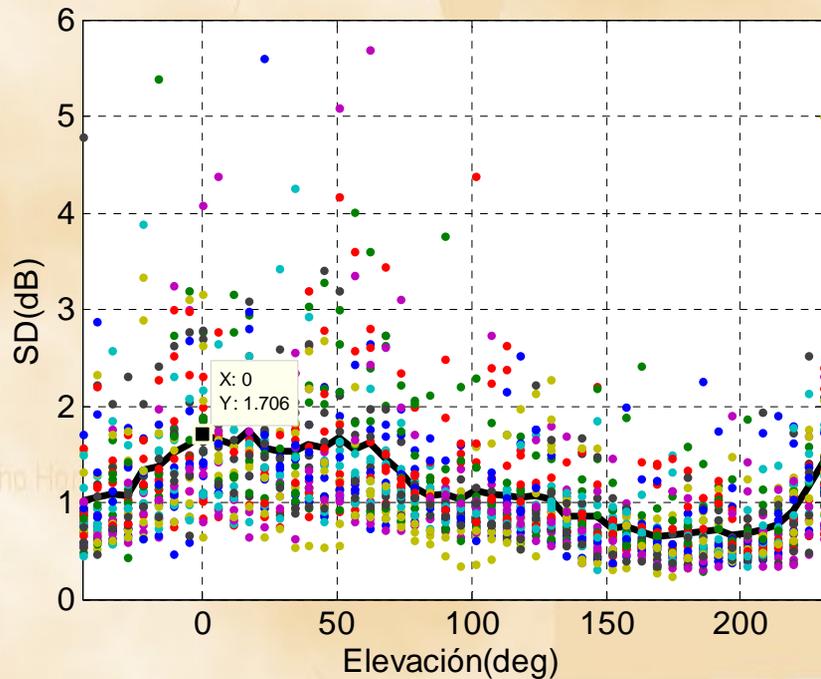


Oído derecho

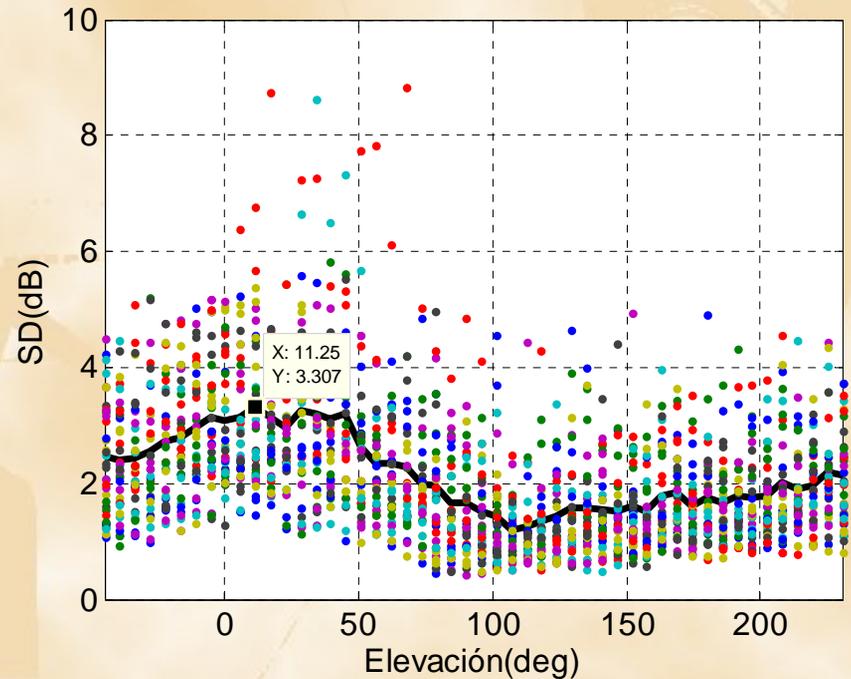
Error de módulo y fase en el plano horizontal



Error de módulo en los planos vertical y sagital a -65°

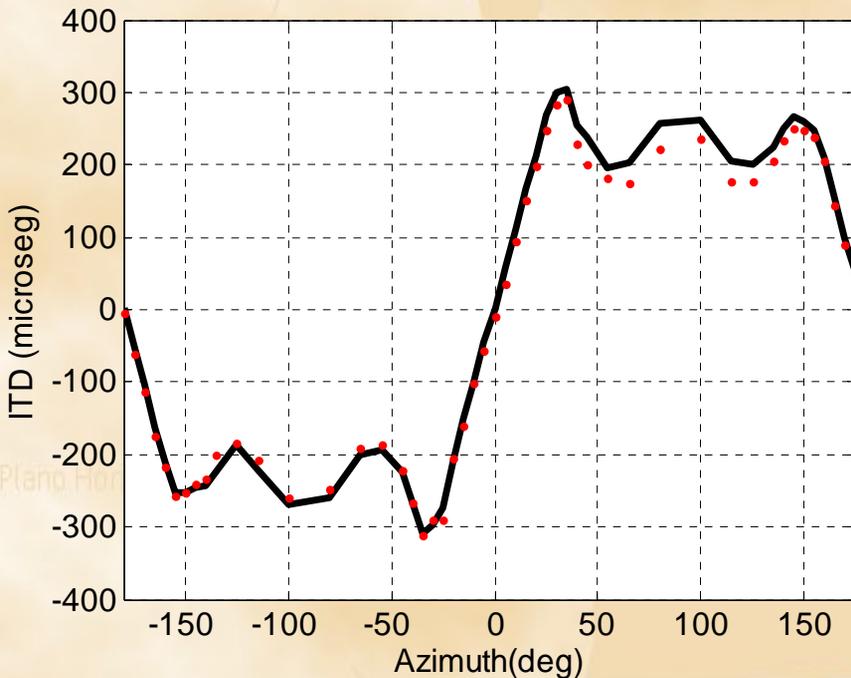


SD Plano vertical

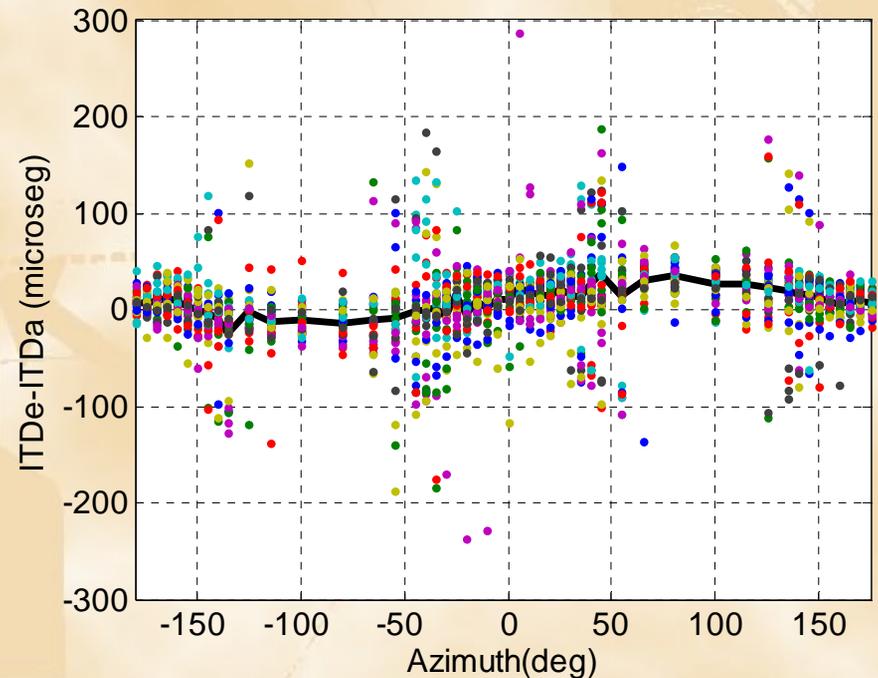


SD Plano Sagital a -65°

Diferencia de tiempo interaural

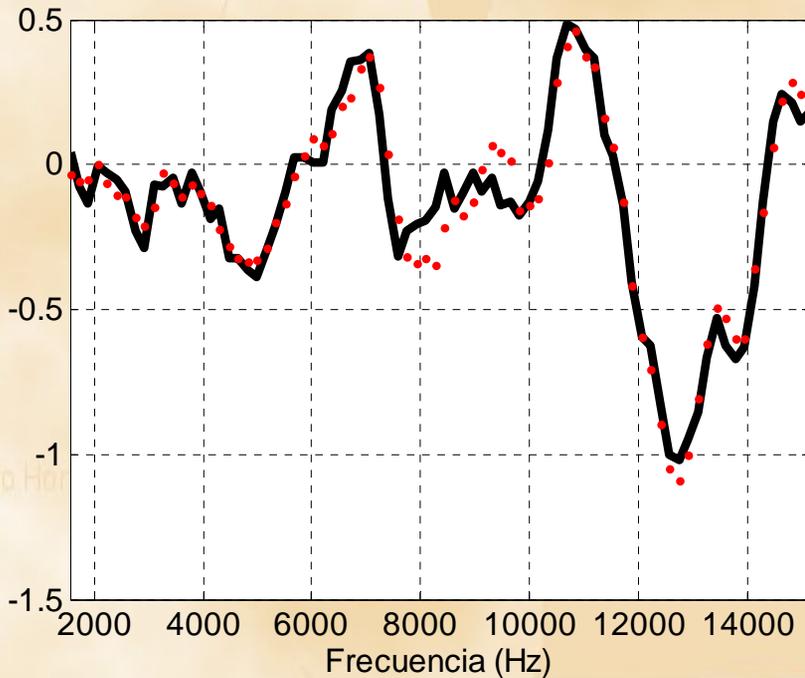


ITD promedio en el plano horizontal de las HRTFs medidas (trazo negro) y de las HRTFs aproximadas entre 150 Hz y 1500 Hz (puntos rojos)

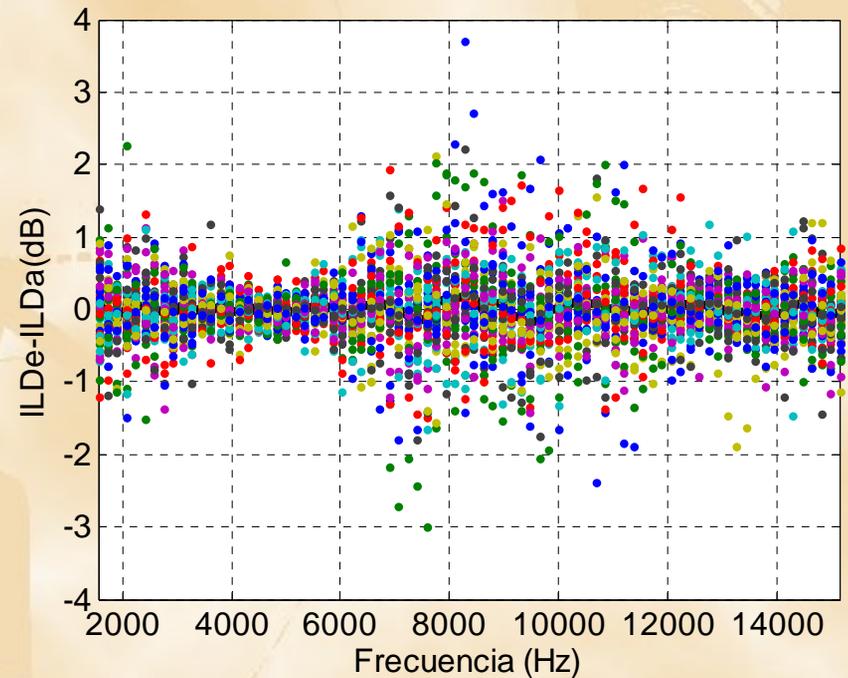


Error medio entre los ITD medidos y los ITD aproximados (trazo negro). En puntos, los errores individuales.

Diferencia de nivel interaural



ILD promedio en el plano horizontal de las HRTFs medidas (trazo negro) y de las HRTFs aproximadas entre 1500 Hz y 15000 Hz (puntos rojos).



Error medio entre los ILD medidos y los ILD aproximados (trazo negro). En puntos, los errores individuales.