



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

VALIDACIÓN DE PROTOTIPO DE SIMULADOR DE TORSO Y CABEZA

Referencia PACS: 43.58.-e

Tati, Nicolás; Vechiatti, Nilda; Iasi, Federico
Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas.
Camino Centenario y Calle 506, s/n°
Gonnet, Provincia de Buenos Aires
Argentina
+54 221 484-2686
cical@gba.gob.ar

Palabras Clave: maniquí acústico, registros biaurales, sonido 3D, espacialidad.

ABSTRACT

In the context of one of the research fields carried out in Acoustics and Lighting Laboratory (LAL-CIC), related to the study of holophonic sounds, in which it is necessary to record sounds including information about the spatial location of the source respect to the listener, it was decided to implement a low cost prototype of a head and torso simulator (HATS). This document presents the methodology and results of the verification tests performed on the implemented mannequin, in accordance with ITU-T recommendation P58, and the description of the software developed for this purpose.

RESUMEN

En el contexto de una de las líneas de investigación llevadas a cabo en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia LAL-CIC, relacionada con el estudio de los sonidos holofónicos, en la que es necesario registrar sonidos que incluyan información sobre la ubicación espacial de la fuente con respecto al oyente, se decidió implementar un prototipo de maniquí acústico, simulador de cabeza y torso (HATS), de bajo costo. Este documento presenta la metodología y los resultados de las pruebas de verificación realizadas en el maniquí implementado, de acuerdo con la recomendación ITU-T P58, y la descripción del software desarrollado para ello.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

INTRODUCCIÓN

En el contexto de una de las líneas de investigación llevadas a cabo en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia LAL-CIC, relacionada con el estudio de los sonidos holofónicos, se decidió implementar un simulador de cabeza y torso (HATS). En una primera etapa, se desarrolló un prototipo de bajo costo, y para ello se acondicionó un maniquí del tipo que se utiliza para exhibir prendas de vestir en tiendas comerciales. Como parte de la implementación del maniquí acústico debieron desarrollarse algoritmos en un entorno de software matemático, tanto para el registro y el procesamiento de los datos obtenidos a través del HATS, como para validación del propio sistema de medición.

En este trabajo se presenta la metodología y los resultados de las pruebas de verificación realizadas en el maniquí implementado, de acuerdo con la recomendación ITU-T P58 ^[1], y la descripción del software desarrollado para esta validación.

VERIFICACIÓN ANTROPOMÉTRICA

Para la implementación del maniquí acústico en general y, para las orejas en particular, se tuvieron en cuenta dos recomendaciones de la International Telecommunication Union (ITU):

- ITU-T Rec. P58 (05/13): "Head and torso simulator for telephonometry"
- ITU-T Rec. P57 (12/11): "Artificial ears"

La Recomendación ITU-T P58 caracteriza el material de construcción del simulador, el que debe ser tal que su superficie no sea porosa, además de tener una impedancia acústica más grande que la del aire y de asegurar estabilidad dimensional. Dado que el laboratorio LAL-CIC contaba con un maniquí del tipo que se utiliza para exponer prendas en tiendas de venta de ropa, se decidió someterlo a la medición y verificación de sus características antropométricas con el objetivo de determinar si podía ser utilizado como base para la implementación del prototipo de maniquí acústico. Además, al maniquí se le reemplazaron las orejas plásticas por orejas moldeadas en silicona.

Con el objeto de lograr un instrumento de medición que fuera confiable y preciso, todas las partes (cabeza, torso y orejas), fueron objeto de verificación, siguiendo los lineamientos de la recomendación ITU-T P.58.

VERIFICACIÓN DEL TORSO Y DE LA CABEZA

La ITU-TP58 establece planos y ejes de referencia sobre los que se deben realizar las mediciones para verificar las proporciones antropométricas requeridas. Los mismos pueden apreciarse en la Figura 1.

Los planos de referencia para la realización de mediciones sobre el maniquí, se establecieron diseñando un sistema compuesto por 5 placas de madera en cuadratura, formando un cajón abierto donde se ubicó el maniquí. Mediante la utilización de un sistema hilo-plomada, se determinó el eje de rotación y el plano de simetría del maniquí, coincidente con el plano vertical del HATS que separa el hemisferios derecho del izquierdo (ver Figura 2). En cuanto al plano horizontal de referencia (separador de los hemisferios superior e inferior), se obtuvo tomando como base la línea determinada por una varilla colocada a través de ambos canales auditivos. Para la obtención de las dimensiones especificadas fue necesario utilizar algunos instrumentos de medición tradicionales, e incluso diseñar y fabricar un "calibre antropométrico" ad-hoc.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

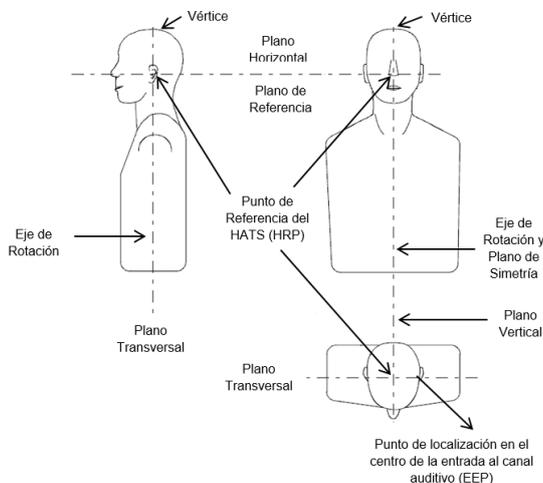


Figura 1: Planos y ejes de referencia para el HATS



Figura 2: HATS en desarrollo junto al sistema de referencia

Según la recomendación ITU-T P.58 las dimensiones requeridas para que un maniquí pueda ser utilizado como HATS son las graficadas en la Figura 3 y las presentadas en la Tabla 1. En la última columna de dicha tabla pueden apreciarse los valores medidos sobre el maniquí, entre los que se destacaron con color rojo los valores que no cumplen con las dimensiones requeridas. Para los casos en que las dimensiones del maniquí no cumplieron con el rango propuesto en la Recomendación ITU, se calculó el error relativo con referencia al valor máximo (o mínimo, según correspondiera), permitido por la recomendación. Esta información se ha presentado en la última columna de la Tabla 1.

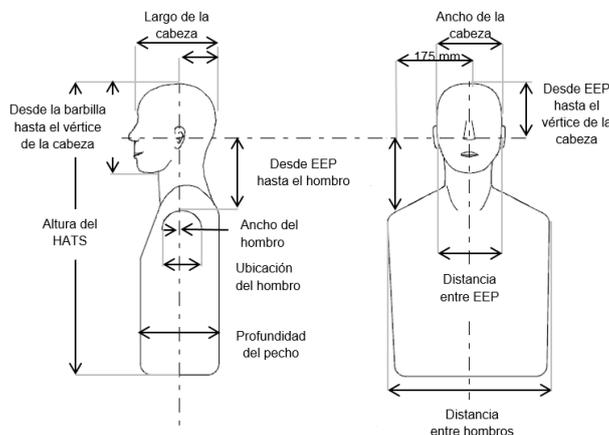


Figura 3: Dimensiones antropométricas a verificar del HATS

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Tabla 1. Dimensiones del HATS (Rec. ITU-T P.58)

Dimensión	Mínimo [mm]	Nominal [mm]	Máximo [mm]	Medido [mm]	Error %
Ancho de la cabeza	147	152	154	158	+2,6
Largo de la cabeza	190	191	205	196	
Desde EEP hasta el vértice de la cabeza	128	130	136	134	
Distancia entre EEP	130	132	133	125	-3,8
Desde EEP hasta la pared occipital	92	94	100	97	
Desde EEP hasta el hombro	167	170	181	179	
Desde la barbilla hasta el vértice de la cabeza	216	224	225	237	+5,3
Distancia entre hombros	400	420	455	450	
Profundidad del pecho	178	235	272	207	-11,9
Ancho del hombro	108	110	161	132	
Ubicación del hombro	-4	10	46	57	+23,9
Altura del HATS	600			747	

Verificación De Las Orejas

Para el HATS desarrollado se utilizó como referencia el simulador de oreja tipo 3.3 de la Recomendación ITU-T P.57 (ver Figura 4). Este oído artificial es el que más se asemeja al oído humano en la banda de 100 Hz a 4 kHz. En la Tabla 2 se detallan los valores de las dimensiones propuestas por la recomendación, comparadas con las dimensiones del simulador de oreja bajo estudio. Los valores destacados con color rojo son las dimensiones que se apartan más del 10% del valor nominal.

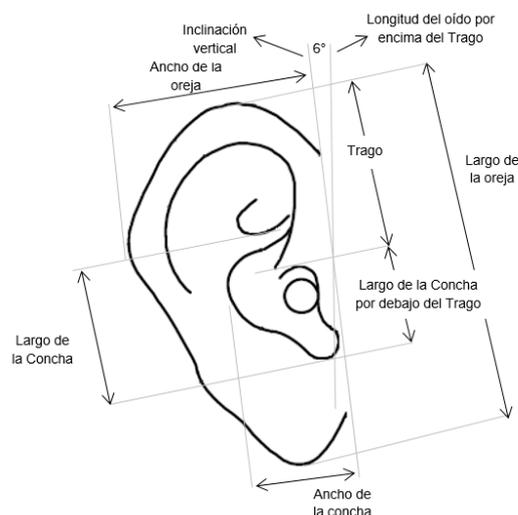


Figura 4: Dimensiones del simulador de oreja tipo 3.3

Tabla 2: Dimensiones del simulador de oreja tipo 3.3 según la Rec. ITU-T P.57, junto a las dimensiones medidas de las orejas bajo estudio

Dimensión	Nominal [mm]	Medido [mm]	Error %
Largo de la oreja	66	60,1	-8,9
Ancho de la oreja	37	36,6	-1,1
Trago	30	28,6	-4,7
Largo de la Concha por debajo del Trago	20	18,0	-11,1
Largo de la Concha	28	19,4	-30,7
Ancho de la Concha	23	16,4	-28,7
Inclinación vertical	6°	6°	

VERIFICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ACÚSTICAS DEL MANIQUÍ

Además del maniquí, el hardware del sistema de medición se completó con dos micrófonos DPA SMK-SC4060 y una placa de audio Tascam US-322. En la Figura 5 puede apreciarse uno de los micrófonos, el maniquí acústico implementado, y el montaje del sistema de medición completo en la cámara anecoica del Laboratorio LAL-CIC.

De acuerdo con lo establecido en la ITU-T P58, con el objeto de verificar sus especificaciones acústicas, se midió la respuesta en frecuencia del HATS, tanto en condiciones de campo libre como en condiciones de campo difuso, utilizando como fuente de excitación ruido de banda ancha en un rango de frecuencias de 20 Hz a 20 KHz.



Figura 5: Prototipo de HATS en cámara anecoica durante una medición

En cada caso, debía evaluarse la respuesta en frecuencia del HATS como la diferencia en dB entre la respuesta espectral captada por el micrófono colocado en el punto de referencia del tímpano del HATS (punto ubicado al final del canal auditivo, en correspondencia con la posición del tímpano), y la respuesta espectral captada por el mismo micrófono, en ausencia del maniquí, ubicado en el punto de referencia del HATS (punto central de la línea que une los puntos centrales de las entradas de ambos canales auditivos). Dado que el micrófono del HATS no estuvo ubicado en el tímpano sino en la entrada del canal auditivo, debió considerarse la transferencia entre el punto donde se obtuvo la captación del HATS y el tímpano, también establecida en la mencionada Recomendación (Figura 6).

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

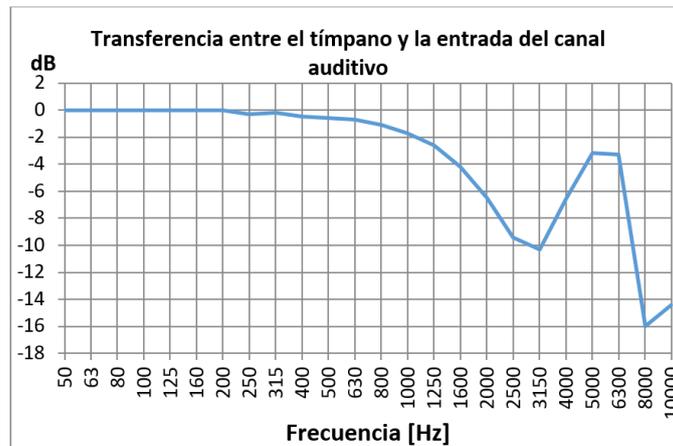


Figura 6: Transferencia entre el tímpano y el punto de referencia del oído

Por otra parte, para realizar la medición y poder procesar los datos de manera de obtener niveles de presión sonora equivalente en tercios de octava para el cálculo de la transferencia del HATS, se desarrolló una rutina de software en entorno matemático. Para cada condición de campo (libre o difuso), y para cada posición de micrófono (con y sin maniquí), se realizó una serie de 10 mediciones con el objeto de evaluar también la repetibilidad. En la Figura 7 se exponen las curvas obtenidas en cámara anecoica (campo libre) y en cámara reverberante (campo difuso). Los resultados obtenidos se muestran junto con los valores límites sugeridos por la recomendación ITU-T P.58 (líneas punteadas rojas).

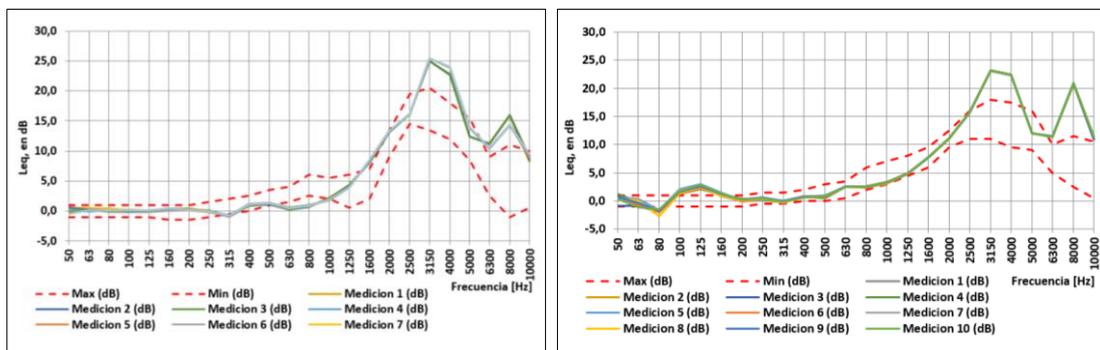


Figura 7: Transferencia del HATS en cámara anecoica y en cámara reverberante

Verificación Del Algoritmo De Cálculo De Respuesta En Frecuencia

Previo a la realización de las mediciones para el cálculo de la transferencia del maniquí, se realizó una verificación de la rutina de software desarrollada para tal fin. Para ello se excitó la cámara anecoica con ruido blanco, y se midieron los niveles sonoros generados. Las mediciones se realizaron a una distancia de 2 metros sobre el eje central de la fuente, en forma simultánea con ambos sistemas de medición.

De ésta manera se obtuvieron los niveles sonoros equivalentes en bandas de tercios de octava, y los niveles globales, con ponderación Z, para una misma fuente y en las mismas condiciones, tanto con el sonómetro como con el sistema completo bajo estudio. Además, se

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

realizó la medición y el registro de una señal de calibración. Durante esta verificación, y con el fin de obtener el comportamiento dinámico y el piso de ruido del sistema en desarrollo, se excitó el recinto con diferentes niveles de presión. Además, las mediciones se repitieron 12 veces para comprobar su repetibilidad. Los resultados se presentan en la Figura 8.

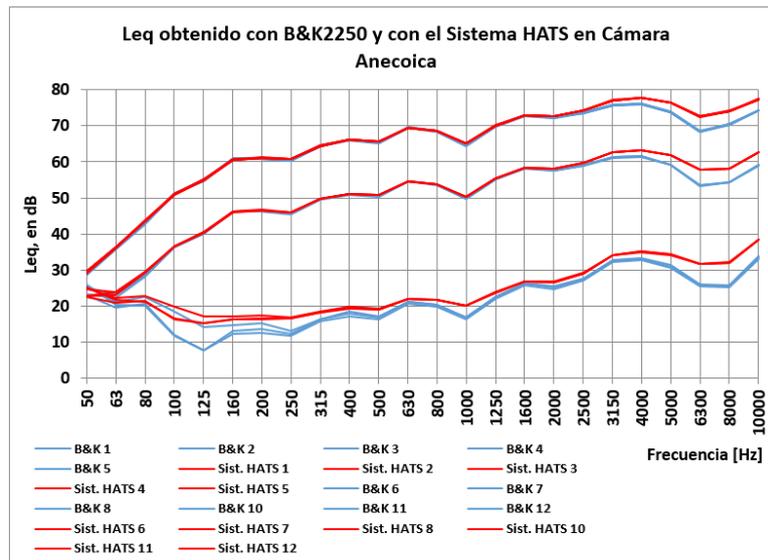


Figura 8: Verificación del software para obtención de la función de transferencia. Comparación de niveles sonoros medidos. Piso de ruido

PARÁMETROS BIAURALES

Una vez realizadas las verificaciones del maniquí, se procedió a implementar el sistema de medición completo (computadora, placa de audio externa, amplificador, parlante y maniquí acústico con sus dos micrófonos), que permitiera obtener los parámetros biaurales complementarios de los parámetros acústicos tradicionales a la hora de caracterizar acústicamente una sala. Para completar el sistema de medición se desarrollaron rutinas de software que permitieran el registro y el posprocesamiento de las señales de ambos micrófonos del HATS. Debe tenerse en cuenta que los parámetros de interés se obtienen por cálculo a partir de la respuesta impulsiva biaural del recinto (IRR).

Los parámetros biaurales comúnmente utilizados son: el Coeficiente de Intercorrelación Interaural (IACC), el Coeficiente de Intercorrelación Interaural Temprano (IACC Temprano) y el Coeficiente de Intercorrelación Interaural Tardío (IACC Tardío). Como su nombre lo indica, el parámetro IACC Temprano tiene relación con las primeras reflexiones del sonido producidas en el recinto, mientras que el IACC Tardío cuantifica las últimas reflexiones del sonido producidas en la sala. A modo de ejemplo del desempeño del sistema de medición logrado sobre la base de un prototipo de bajo costo de un simulador de cabeza y de torso, se presentan comparativamente las curvas de estos parámetros biaurales obtenidas con el sistema desarrollado y con el software comercial DIRAC (ver Figura 9 y Figura 10). En todos los casos, la IRR fue obtenida con barridos sinusoidales exponenciales. Podemos apreciar que en cuanto al parámetro IACC el error relativo es menor o igual que $\pm 3\%$, salvo para la banda centrada en 2000 Hz, en la que se presenta el peor caso, siendo el error relativo de -10% . En cambio para los valores de IACC Temprano y de IACC Tardío, el error relativo resultó un poco mayor.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

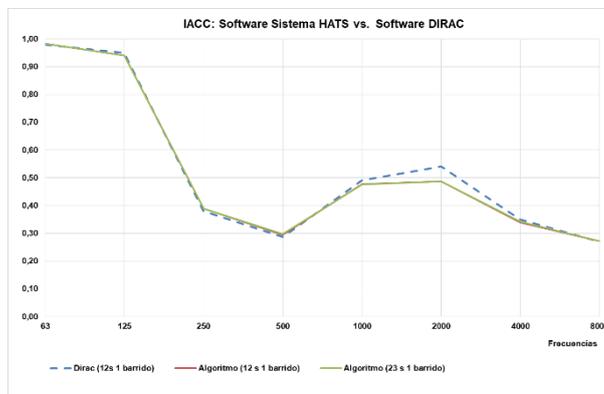


Figura 9: Comparación de los valores de IACC obtenidos a partir del software de referencia y los obtenidos con el algoritmo desarrollado

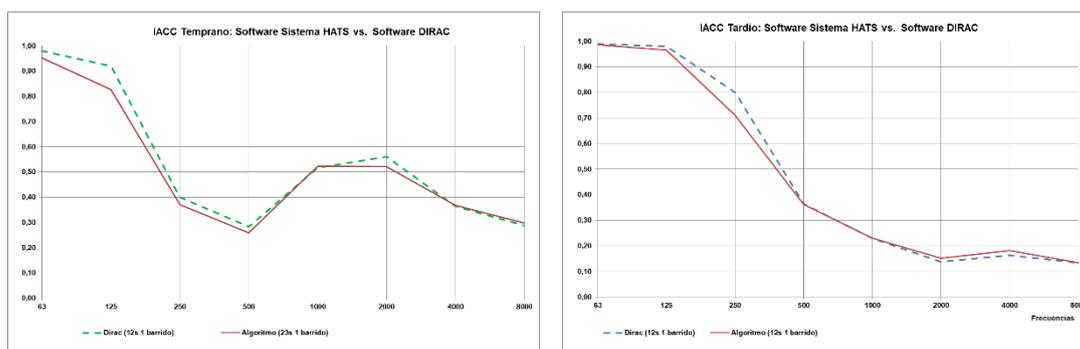


Figura 10: Comparación de los valores de IACC Temprano y Tardío obtenidos a partir del software de referencia y los obtenidos con el algoritmo desarrollado

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Y formó parte del plan de tareas de la Beca de Entrenamiento de un alumno de la carrera de Ingeniería Electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Recomendación ITU-T P.58 (2013). Head and torso simulator for telephony.
- [2] Recomendación ITU-T P. 57. (2011). Artificial ears.
- [3] Farina, A. (2007). Impulse Response Measurements. 23rd Nordic Sound Symposium.
- [4] Miyara, F. (2013). Mediciones acústicas basadas en software. Gonnet: Asociación de Acústicos Argentinos.
- [5] Swen, M., & Massarani, P. (Junio de 2001). Transfer-Function Measurement with Sweeps. J. AES, págs. 443-471.