



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN, ESPECIALIDAD EN  
SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE EN LA DETERMINACIÓN DE  
PARÁMETROS ACÚSTICOS SEGÚN ISO 3382 DEBIDA AL  
PROMEDIADO ESPACIAL.

Abel Arregui Odériz

Miguel Arana Burgui

Pamplona, 26 de abril de 2012

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	4
2. CARACTERÍSTICAS DEL AUDITORIO .....	6
2.1 Situación y datos generales.....	6
2.2 Dimensiones .....	8
2.2.1 Escenario .....	8
2.2.2 Audiencia.....	9
2.3 Materiales.....	11
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	13
3.1 Requisitos ISO .....	13
3.2 Características del equipo .....	14
Conexionado: .....	14
3.3 Preparación del dispositivo experimental.....	16
3.3.1 Configuración de winMLS.....	16
3.3.2 Parámetros a estudiar .....	18
3.3.3 Asignación de nombres a ficheros y butacas .....	18
3.3.4 Estimación del tiempo a emplear.....	19
3.4 Fundamentos teóricos y algoritmo de winMLS.....	20
3.5 Organización y plan de medida .....	25
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	27
4.1 Ajuste e interpretación de los datos .....	28
Resultados descriptivos del auditorio .....	32
4.2 Análisis estadístico y test de normalidad .....	47
4.2.1 Estadística descriptiva .....	47
4.2.2 Test de normalidad .....	48
4.3 Pruebas aleatorias .....	50
4.3.1 Introducción .....	50
Casos extremos: máxima diferencia entre informes normalizados.....	51
Generación automática de informes normalizados.....	54

5. CONCLUSIONES .....	67
6. LÍNEAS FUTURAS DONDE PROFUNDIZAR .....	68
7. REFERENCIAS .....	69
8. ANEXO 1. HOJAS DE ESPECIFICACIONES.....	70
Micrófono AudioTecnica .....	70
Alimentación Phantom.....	71
Amplificador .....	72
Fuente omnidireccional.....	76
Micrófono G.R.A.S. ....	79
Cabeza Binaural .....	81
Previos Norsonic.....	83
9. ANEXO 2. PLANES DE MEDIDA .....	84
Medidas 13 de octubre de 2011 .....	84
Medidas conservatorio 17 al 21 de octubre 2011 .....	87

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

La norma ISO 3382 especifica los métodos de medición de varios parámetros acústicos. La primera parte de la norma, llamada ISO 3382-1:2009 se centra en las salas de espectáculos, mientras la segunda parte (anterior a la primera), denominada ISO 3382-1:2008, se ocupa de la medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Ambas anulan y sustituyen a la norma UNE-EN ISO 3382:2001.

El propósito de la norma es describir el campo de aplicación, el procedimiento, las condiciones de medición, la instrumentación requerida y el método para evaluar la corrección los datos y presentar el informe de ensayo. Está enfocada a la aplicación de las técnicas de medición numéricas modernas y a la evaluación de los parámetros acústicos de los recintos a partir de las respuestas impulsivas.

El objeto del proyecto será analizar si la ISO 3382-2 es lo suficientemente precisa y si su cumplimiento es garantía de resultados fiables o, cuando menos, permiten una caracterización del local en su conjunto. Para ello disponemos del auditorio del Conservatorio Superior de Música de Pamplona, de nueva creación (inaugurado el curso 2011 - 2012) situado en la zona de Mendabaldea (Pamplona), con capacidad para 375 personas sentadas (se describe con mayor profundidad en el capítulo 2), el cual caracterizaremos acústicamente mediante mediciones normalizadas. Analizaremos el conjunto de datos que obtengamos para llegar al objeto del proyecto.

El proceso de caracterización de un recinto, mediante el método que utilizaremos en éste proyecto, consiste básicamente (la descripción completa del proceso se explica en el procedimiento experimental, capítulo 3) en la colocación de una serie de receptores (micrófonos) en la zona de butacas y una fuente de sonido en el escenario. Mediante un programa informático se analiza lo que ha recogido cada receptor y calcula para cada uno de ellos el valor de ciertos parámetros acústicos.

Según la ISO 3382, para hacer una correcta caracterización de éste auditorio, se necesitan al menos 6 posiciones de micrófono diferentes y 2 posiciones de fuente acústica. Para estudiar el objeto del proyecto, se van a calcular los valores de los parámetros acústicos monoaurales (EDT, T30, G, C80, D50, Ts,  $J_{LF}$ ) y binaurales (IACC) para cada butaca, es decir, 375 posiciones de micrófono y además, para 3 posiciones de fuente ( $J_{LF}$  e IACC para 1 posición de fuente)

De ésta manera podremos evaluar los resultados de la combinación de 6 receptores y 2 posiciones de fuente, para comprobar si entre los valores promediados de los parámetros de dichas combinaciones hay alguna diferencia notable.

Hay que destacar que la ISO establece que debe haber una distancia mínima entre receptores de 2 metros de distancia y 1 metro desde el receptor a la superficie reflectante más cercana. Además, también indica que las posiciones deben de ser representativas. Por ello, para hacer un correcto análisis de los resultados, se dividirá la audiencia en 7 cuadrantes y se prescindirá de los datos de algunas butacas para poder cumplir la norma.

Esto quiere decir que obtendremos los parámetros en todas las butacas del auditorio, pero a la hora de analizar los resultados, no podremos utilizar los valores de algunas de ellas.

La memoria está dividida en cinco partes. La primera de ellas es esta introducción. A continuación, en el capítulo segundo, llamado Características del auditorio, se describe la sala donde se han realizado las medidas: situación, planos y materiales utilizados.

El tercer capítulo es el de Procedimiento experimental, en el que se explican las técnicas aplicadas para el desarrollo de las mediciones, los requisitos de la Norma ISO que deben cumplir éstas, fundamentos teóricos sobre la respuesta al impulso y los parámetros acústicos derivados de ella, el funcionamiento del programa winMLS y el plan de medidas elaborado para desarrollar el trabajo.

En el cuarto capítulo, denominado Resultados y análisis, se encuentra el grueso de este documento: ajuste de datos, descripción acústica de la sala, análisis de normalidad y estudio de muestras aleatorias generadas para evaluar las múltiples maneras de realizar correctamente un informe conforme a Norma ISO 3382-1

El quinto capítulo es el de las conclusiones: a partir de los datos generados y estudiados en el capítulo anterior, se procede a la redacción de las conclusiones finales.

Finalmente, en los capítulos sexto y séptimo se presentan las referencias y los anexos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL AUDITORIO

En éste apartado se describe dónde se encuentra y cómo es el auditorio en el que se han realizado las medidas para este proyecto. Se explican los materiales utilizados para construir la sala así como las dimensiones del mismo.

### 2.1 SITUACIÓN Y DATOS GENERALES

El Conservatorio Superior de Música de Navarra, donde se encuentra el auditorio, se sitúa en el Paseo Pérez Goyena, número 1 de Pamplona. Se puede ver señalado en azul en el mapa de la Figura 2.1.

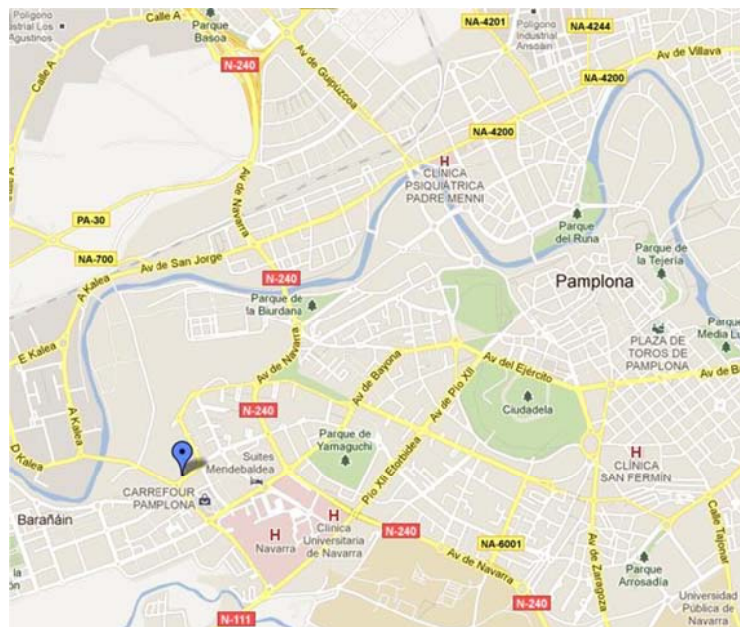


Figura 2.1 Plano parcial de Pamplona. El punto azul señala la ubicación del conservatorio.

El edificio, construido entre 2010 y 2011 junto con el Conservatorio Profesional, fue inaugurado en octubre de 2011, dando paso al inicio de las clases del nuevo curso. En la Figura 2.2 se puede observar la parte exterior del mismo.



Figura 2.2 Fachada del conservatorio.

Las mediciones se han tomado en el auditorio principal, denominado Aula Fernando Remacha, el cual está situado entre la planta baja (entrada superior) y el sótano (nivel de

escenario) del edificio. La sala tiene capacidad para 375 personas y el volumen de la misma es de 4144 m<sup>3</sup>.

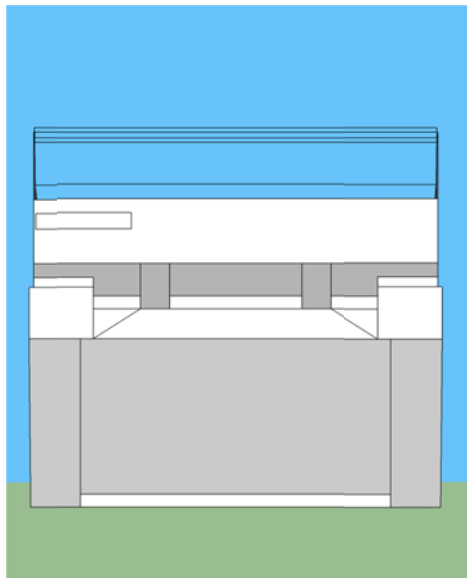


Figura 2.3 Alzado.

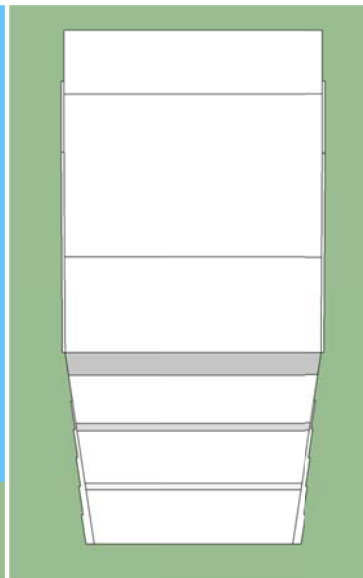


Figura 2.4 Planta

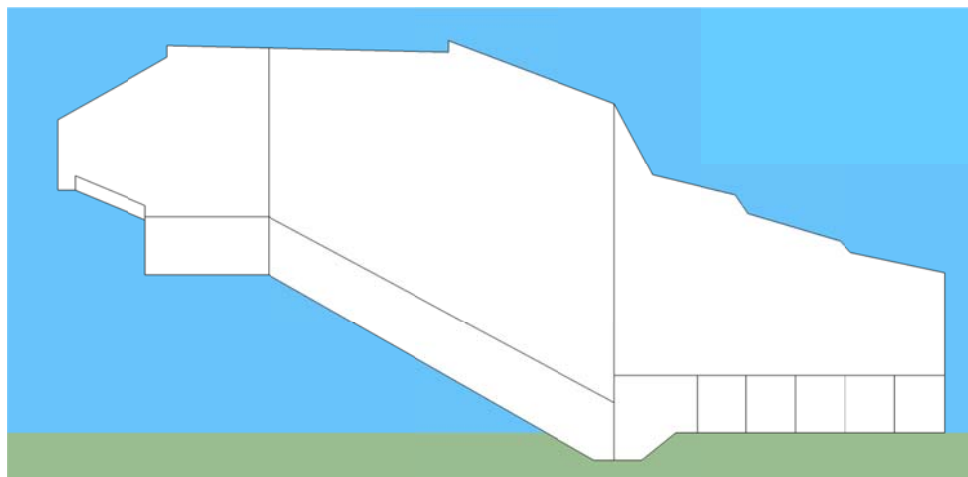


Figura 2.5 Perfil

En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se pueden ver los planos del auditorio, sin acotar. Seguidamente se va a describir el tamaño del mismo, pero si el lector quiere, tiene a su disposición la simulación en Sketch Up del mismo, para que pueda tomar las medidas que considere necesarias, si es que no las encuentra descritas a continuación.

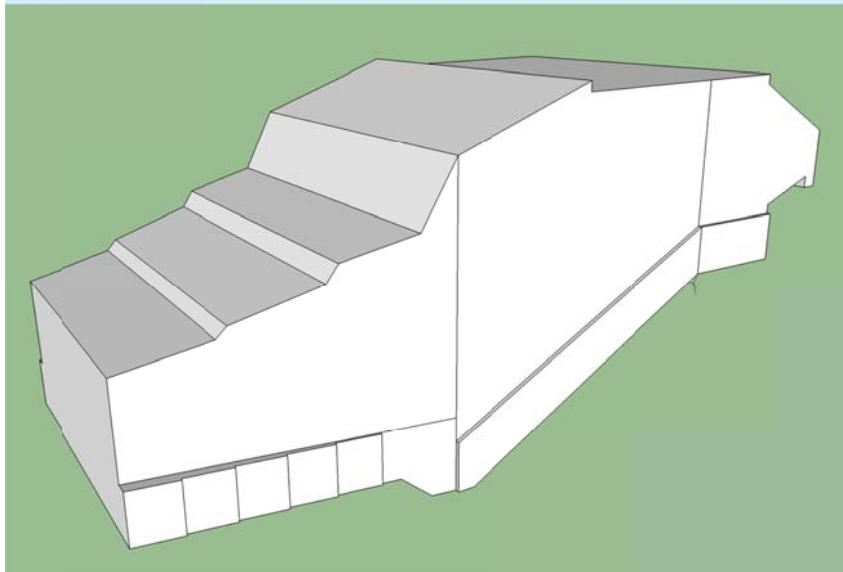


Figura 2.6. Vista en 3D

En los siguientes apartados se van a describir las dimensiones de las zonas del auditorio por un lado y la relación de materiales utilizados para revestir el interior, por otro.

## 2.2 DIMENSIONES

El auditorio se puede dividir en dos partes fundamentales: el escenario y la audiencia. Se describen separados a continuación:

### 2.2.1 ESCENARIO

El auditorio dispone de un escenario en forma de abanico, en el que las paredes laterales y el techo se abren hacia la audiencia. Longitudes del escenario:

- Anchura en el fondo : 13m
- Anchura máxima: 14,9 m
- Fondo de escenario: 11m

El techo del escenario también se va abriendo hacia arriba, como podemos ver en la Figura 2.4 pero con 3 escalones diferenciados. Longitudes:

- Distancia al techo en el fondo: 5,6m
- Distancia al techo máxima: 9m

En los laterales dispone de unos escalones verticales desde el fondo hasta el final del escenario, con una altura de 2 metros. La longitud de los mismos es de 1,7 metros y la altura del escalón de 10 centímetros.

El escenario tiene a los laterales dos escaleras, pegadas a la pared, que facilitan el acceder al mismo. La altura del escenario respecto al suelo de audiencia es de 1 metro.



---

### 2.2.2 AUDIENCIA

La audiencia se compone de dos zonas diferenciadas: la platea, que es la más grande, con 273 butacas y el palco, con 102. Ambas están inclinadas, como se puede ver a continuación en la Figura 2.7



Figura 2.7 Fotografía del auditorio desde la parte superior del mismo

---

#### PLATEA

Como se ha dicho, es una zona inclinada (siendo la primera fila la más baja) compuesta en su totalidad por 273 butacas, distribuidas en 13 filas de 21 butacas cada una. Al ser un plano inclinado, como pasillos existen escaleras, situadas en los laterales. Cada fila tiene un desnivel de 60 centímetros respecto a la anterior. Longitudes:

- Ancho de la zona: 15,8 metros
- Longitud de la zona: 13,1 metros
- Ancho de cada pasillo: 1,9 metros

Desnivel (diferencia de altura entre primera y última fila): 6,5 metros

Las paredes laterales de la audiencia tienen un rebaje de 20 centímetros y 2 metros de altura que se extiende desde el principio de la zona de audiencia hasta el final de la zona de platea.

---

#### PALCO

La platea y el palco están separados por un pasillo. En dicho pasillo se encuentran, a ambos lados, las entradas superiores del auditorio. Delante de la zona de palco también se ha instalado un panel resonador que cubre todo el ancho del palco. Estas características se pueden ver en la Figura 2.8, que muestra una foto del pasillo donde a la izquierda se encuentra la platea y a la derecha el palco.



Figura 2.8 Fotografía del pasillo entre platea y palco

En el pasillo separador de ambas zonas de audiencia también se han habilitado, a ambos lados, unas pequeñas escaleras para acceder al palco. Éste también se encuentra inclinado y se divide en 3 sub-zonas:

Zona 1 y 3: simétricas, se sitúan en los laterales. Tienen 27 butacas cada una.

Zona 2: en forma rectangular, es la zona central, dispone de 48 butacas.

Para acceder a los asientos, el palco tiene dos escaleras que se encuentran a ambos lados de la zona central.

El techo, en la zona de audiencia, también tiene tres inclinaciones diferentes, como podemos ver en la Figura 2.4.



Figura 2.9 Fotografía del auditorio, tomada desde el fondo del escenario

La Figura 2.9 muestra la distribución de las butacas en la audiencia, tal y como se ha explicado anteriormente.

## 2.3 MATERIALES

En lo que a absorción acústica se refiere, la sala se compone de tres tipos de materiales diferentes: la madera, las butacas y el panel perforado que actúa como resonador (situado separando la zona del palco con la de la platea)

### MADERA

Es el material que más superficie abarca en el auditorio. Reviste el techo, suelo, paredes laterales y escenario. Para las paredes laterales se ha instalado un tipo de madera lacada blanca, de la cual sus coeficientes de absorción son desconocidos. Para el resto de madera, se especifican los coeficientes de absorción por octava en la Tabla 2.1

Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha$	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07

Tabla 2.1 Coeficiente de absorción de una de las maderas instaladas

### RESONADOR

Junto al pasillo que separa la zona de platea de la zona de palco se encuentra instalado un panel resonador que se extiende de lado a lado del auditorio. Tiene una altura de 2 metros y sus coeficientes de absorción vienen especificados en la Figura 2.10

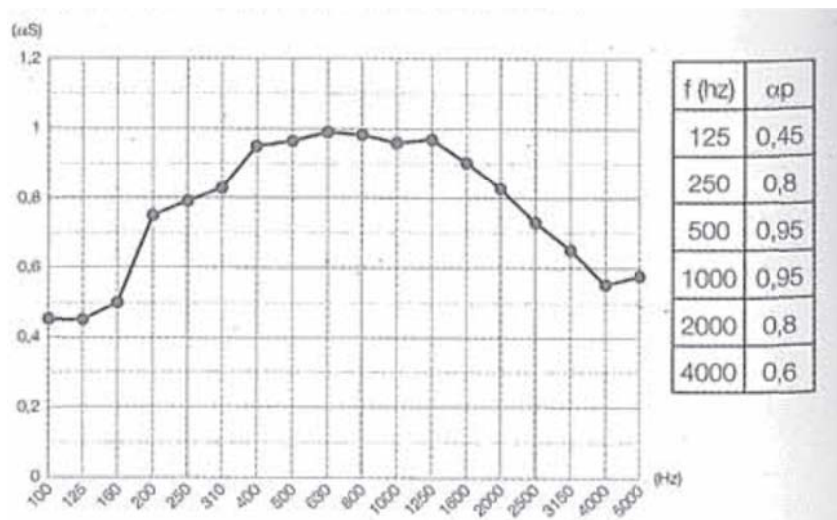


Figura 2.10 Coeficientes de absorción del panel perforado "Onda Wave"

### BUTACAS

El total de asientos instalados en el auditorio asciende a 375, divididos en platea y palco. Las butacas son de cuero blanco, modelo "Prima" de la empresa Dynamobel. Los coeficientes de absorción están especificados en la Figura 2.11

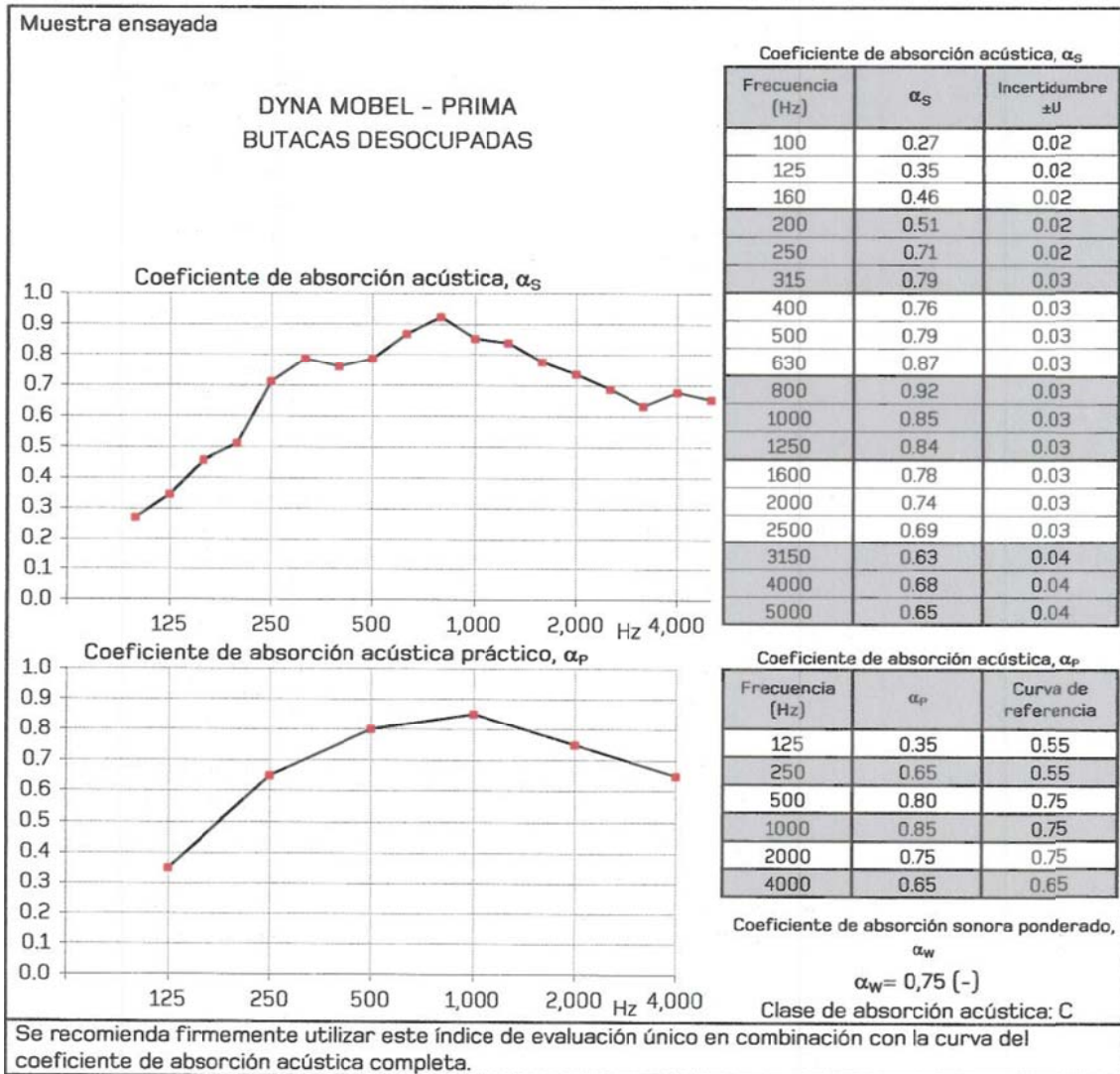


Figura 2.11 Coeficientes de absorción de butacas tipo "Prima"

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Dentro de esta sección se explican los requisitos que la Norma ISO 3382-1 impone a los procedimientos de medida para que éstos se consideren normalizados. A partir de ahí se describe de manera detallada los equipos que se utilizan, el software que hace las medidas, los tipos de señales que vamos a utilizar y también el plan elaborado para realizar los experimentos.

También se redacta una introducción teórica a la respuesta al impulso (ya que es de donde se deriva el cálculo de los parámetros acústicos) y al algoritmo del programa utilizado para calcularla: winMLS.

#### 3.1 REQUISITOS ISO

La ISO 3382 establece una serie de requisitos mínimos que han de cumplir los elementos que se utilizan a la hora de realizar mediciones. Además, especifica los procedimientos y las condiciones necesarias para que las medidas sean correctas. Por ello, antes de realizar ninguna medida, debemos comprobar todo nuestro equipo.

A continuación se enumeran los requisitos para hacer medidas según ISO 3382-1

#### REQUISITOS DE EQUIPO

- Medir temperatura y humedad con precisión  $\pm 1$  °C y  $\pm 5\%$ , respectivamente.
- Fuente lo más omnidireccional posible. (Tabla 1 ISO 3382-1)
- Nivel de fuente con 45dB de relación S/N (sin promediado sincrónico).
- Micrófonos omnidireccionales. Cumplir requisitos de sonómetro tipo 1 (establecido en la Norma IEC 61672-1)

#### POSICIONES DE MEDICIÓN

##### FUENTE:

- Donde se situarían generalmente las fuentes sonoras naturales.
- Al menos 2 posiciones diferentes.
- Altura a 1,5 metros del suelo.
- Distancia mínima entre fuente y micrófono de 1,5 m.

##### MICRÓFONO:

- Posiciones representativas.
- Para TR, es importante representar la totalidad del espacio.
- Alejadas entre ellas media longitud de onda, es decir, aproximadamente 2 metros.
- Alejado por lo menos 1 m. de cualquier superficie reflectante.
- Colocar a altura de 1,2 metros del suelo.

- Ninguna posición de micro tiene que estar demasiado cerca de la fuente.
- Escoger distribución que anticipe las principales influencias susceptibles de provocar diferencias. (cerca de paredes, debajo de palcos...)

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

El material con el que realizaremos las medidas necesarias para obtener los parámetros derivados de la respuesta al impulso son:

- PC Toshiba Satellite con interfaz de audio Digidesign VXpocket y provisto con el software WinMLS 2004 Professional.
- Amplificador ElectroVoice Q44-II de 2x450W
- Conjunto de altavoces AWM DO12 formado por 12 altavoces en disposición dodecaedrica.
- Previo Norsonic 335
- Micrófonos de campo libre G.R.A.S. 40AC
- Micrófono AudioTecnica modelo AAT4050
- Alimentador Phantom de ARTcessories
- Cabeza binaural de Head Acoustics
- Termómetro e higrómetro.
- Cableado con conectores lemo
- Cableado con conectores XLR (macho hembra bnc)
- Cableado SpeakOn

Para mayor información, en el Anexo 1 se encuentran las hojas de especificaciones de cada uno de ellos.

---

#### CONEXIONADO:

La conexión de salida del PC se conecta mediante cables XLR a uno de los canales de entrada del amplificador Q44. La salida del amplificador se conecta mediante un cable *Speakon* a la entrada del DO12.

---

#### PARA MEDIR PARÁMETROS MONOAURALES

Se utilizan micrófonos GRAS y se conecta mediante cables LEMO a una de las entradas del previo Norsonic cuya salida se conecta mediante cables XLR-BNC a la correspondiente entrada del PC. (Ver Figura 3.1)

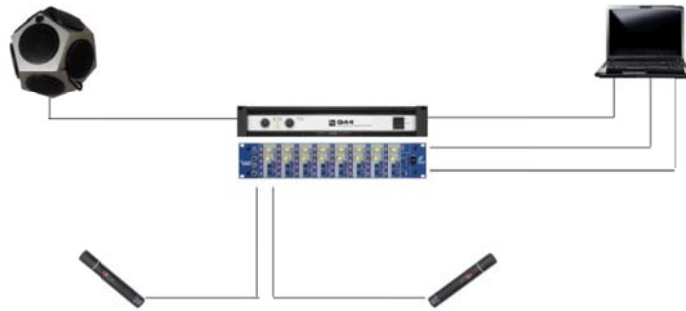


Figura 3.1 Esquema de conexión para medición de parámetros monoaurales

#### PARA MEDIR EFICIENCIA LATERAL

Se mide con el micrófono AudioTecnica, que necesita alimentación de 48 v. Por ello, se conecta mediante cable XLR al alimentador Phantom y éste a la entrada del PC con otro cable XLR. (Ver Figura 3.2)



Figura 3.2 Esquema de conexión para medición de eficiencia lateral

#### PARA MEDIR PARÁMETROS BINAURALES

Se utiliza la cabeza artificial, que se conecta mediante cables LEMO a una de las entradas del previo Norsonic cuya salida se conecta mediante cables XLR-BNC a la correspondiente entrada del PC.

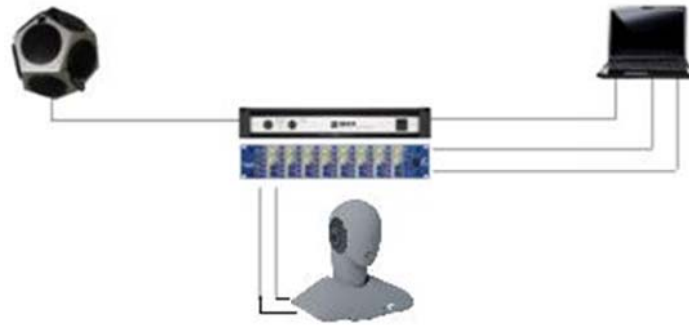


Figura 3.3 Esquema de conexión para la medición de parámetros binaurales

Todo el equipo cumple las exigencias técnicas que establece la ISO 3382-1.

### 3.3 PREPARACIÓN DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Antes de realizar las medidas se necesita preparar el equipo y configurar el software, en nuestro caso WinMLS.

#### 3.3.1 CONFIGURACIÓN DE WINMLS

En este apartado se explican los procedimientos de configuración del software y las pruebas para elegir la mejor opción.

#### PRUEBA DE SEÑALES

La utilización de este programa en otras ocasiones nos había generado problemas: cuando calculaba la respuesta al impulso, aparecía un pequeño pico (siempre en el mismo sitio, mucho antes de la llegada del sonido directo) y al hacer los cálculos, lo interpretaba como la llegada del sonido directo.

Para pocas medidas el problema tiene fácil solución: se puede indicar de forma manual cuál es el inicio de la respuesta al impulso y se resuelve. En este caso vamos a manejar numerosas medidas, por lo que se necesita automatizar todo lo más posible y no tener que indicar a mano el inicio del sonido directo.

Análisis del problema: realizamos varias pruebas en el laboratorio con diversos micrófonos y diferentes señales de excitación; observamos que el pico solo aparece en los micrófonos GRAS para señales multi-sweep.

Para tipo de señal sweep simple y MLS el problema desaparece, no obstante, para éstas últimas es necesario un Nivel de Presión Sonora mayor para alcanzar el mismo EDR



(Effective Decay Ranges) que con los sweeps simples y además el cálculo de la distancia (que hace teniendo en cuenta el momento de emisión y la llegada del sonido directo) es impreciso en algunas ocasiones con éstas mismas señales.

Los resultados de los test de laboratorio son los siguientes:

Situada la fuente a 1,3 metros de las paredes más cercanas; situados los micros a 3,1 metros (AT) y 3,3 metros (GRAS) de la fuente:

#### CON SEÑALES SWEEPS SIMPLES

- siempre y cuando el EDR sea mayor de 35 dB para bandas de 125 a 4000Hz, los cálculos son correctos. Detecta perfectamente el inicio del sonido directo y calcula correctamente la distancia  $r(m)$  micro-fuente, para ambos micros.

#### SEÑALES MULTI-SWEEP

- con EDR entre 37 y 40 (micro GRAS) para bandas de 125 a 4000 Hz: Al calcular, detecta el pico inicial como inicio del sonido directo.
- con EDR sobre los 46 y 47 dB (micro GRAS) para bandas de 125 a 4000 Hz: Al calcular, NO detecta el pico inicial como inicio del sonido directo, pero calcula que los micrófonos están 70 cm más lejos que en lo que en realidad están. Ocurre en ambos micros.
- Mejorando EDR se sigue igual que el caso anterior.

#### SEÑALES MLS:

- No hay problemas de pico inicial (no sale) pero el cálculo de la distancia  $r(m)$  micro-fuente sale igual al caso de los sweeps múltiples, es decir, CALCULA QUE LOS MICRÓFONOS ESTÁN 70 CM MAS LEJOS QUE EN LO QUE EN REALIDAD ESTÁN. Ocurre en ambos micros. Se necesita más NPS de fuente para conseguir el mismo EDR que con sweeps.

## CALIBRACIÓN DE MICRÓFONOS

---

Vamos a utilizar 3 tipos de receptores: GRAS, AudioTecnica y la cabeza binaural. Para estos dos últimos se utiliza como parámetro de sensibilidad el que viene en las especificaciones de cada uno.

Para el caso de los micrófonos tipo GRAS disponemos de un calibrador y 8 previos nortek. La calibración la haremos con winMLS. Para iniciarla pinchamos en el menú *calibrate*. Hay que meter al calibrador el micro, que proporciona 94 dB a 1000Hz. y darle al botón calibrar. Como no suele haber señal suficiente, hay que subir la ganancia del micro del previo y ponerlo a +20 o +30, indicando en el menú de calibración que usas amplificador externo y la ganancia que le estás aplicando.

El resultado es una sensibilidad entorno a los 12 o 13 mV/Pa, que es del orden del valor que viene en sus especificaciones.

## SETUPS

---

*Setups* se denominan los perfiles de usuario de winMLS. Éstos guardan información sobre la sensibilidad de los micrófonos a utilizar, la señal elegida, cálculo de parámetros por defecto, visualización, etc.

Por ello, para mayor comodidad, se crea un SETUP propio para utilizar en el auditorio y que se adapte a nuestras necesidades. Hay 2 tipos de setup: los de procesado (SETUP -> STORE) o los de postprocesado, (WINDOW-> STORE POSTPROCESSING).

He creado uno de procesado que se llama Abel. Con los micros GRAS y AT calibrados, así como configurado para que calcule por defecto (si se lo pedimos) los parámetros monoaurales. Además he puesto 2 pantallas para que se muestre la curva de caída de cada micrófono en cada una de ellas. Solo aparecerán las de la última medida hecha.

En cuanto al postprocesado he creado 3 setups, una para calcular parámetros monoaurales, otra para los de la eficiencia lateral (LF) y otro para los binaurales (IACC).

---

### 3.3.2 PARÁMETROS A ESTUDIAR

Evaluaremos tanto parámetros monoaurales (EDT, T30, G, C80, D50, Ts, J<sub>LF</sub>, ST) como binaurales (IACCA IACCE IACCL).

Los parámetros monoaurales se pueden calcular a partir de una sola medida con micrófono tipo GRAS (omnidireccional). Sin embargo, el parámetro J<sub>LF</sub>, de eficiencia lateral, se calcula mediante la combinación de una medida con directividad omnidireccional y otra con directividad en figura de ocho. Para ello haremos las medidas con un micrófono que pueda cambiar su directividad con un conmutador. En nuestro caso será el micrófono AudioTecnica.

Para los parámetros binaurales utilizaremos la cabeza artificial

---

### 3.3.3 ASIGNACIÓN DE NOMBRES A FICHEROS Y BUTACAS

Para la caracterización del auditorio (medida en 4 puntos con 4 posiciones de fuente) se utilizará la siguiente nomenclatura como nombre de fichero en winmls:

## POSICIONES DE FUENTE

---

Más alejada de audiencia: S1

Centro: S2

Más cercana a audiencia: S3

## NOMBRES PARA FICHEROS DE MEDIDAS EN WINMLS

---

Fuente: Sx ;            x = número de posición de la fuente (1,2 o 3)

Fila: Fxx;            xx = fila con 2 cifras de la posición de la butaca

Columna: Cyy yy= columna con 2 cifras de la posición de la butaca

Micrófono: G o AT

Tirada o directividad: T1, T2, O, F8

Ejemplo nombre completo en winmls:

S1F01C01GT1

S1F01C02ATO

S1F01C01GT2

S1F01C02ATF8

Para la toma de medidas en cada butaca, el nombre será un número del 001 al 375, es decir, cada butaca tendrá su identificador, el cual servirá para nombrar el fichero que contenga su respuesta al impulso. Se meterá en carpetas diferentes para cada posición de fuente.

---

### 3.3.4 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO A EMPLEAR

La duración de la señal sweep simple se ha configurado en 20 segundos. A continuación se debe cambiar la posición de los micrófonos y guardar el fichero, por lo que calculamos que se puede emplear aproximadamente 1 minuto por medida.

Ya que únicamente se dispone de una semana, se ha decidido calcular los parámetros binaurales y  $J_{LF}$  para una sola posición de fuente (son los más costosos). Los monoaurales se calcularán para 3 posiciones de fuente.

Para el cálculo de parámetros monoaurales se necesitarían 30 segundos por butaca, ya que podemos medir dos a la vez. Para parámetros binaurales se necesitaría 1 minuto por butaca y para el JLF, 2 minutos.

El número total de medidas a realizar, teniendo en cuenta que para parámetros monoaurales utilizaremos 3 posiciones de fuente y para LF y binaurales 1 posición de fuente, será de:

Monoaurales:

$(375 \text{ butacas} \times 3 \text{ posiciones de fuente}) / 2 \text{ medidas simultáneas} \approx 563 \text{ medidas}$

Eficiencia lateral:

$375 \text{ butacas} \times 1 \text{ posición de fuente} \times 2 \text{ medidas por butaca} = 750 \text{ medidas}$

Binaurales:

$375 \text{ butacas} \times 1 \text{ posición de fuente} = 375 \text{ medidas}$

También se planean realizar medidas con los receptores en el escenario para utilizarlas en otros proyectos:

$86 \text{ medidas en rejilla de escenario} \times 1 \text{ posición de fuente} = 86 \text{ medidas}$

$12 \text{ medidas (1 cada } 30^\circ, \text{ a 1 metro de la fuente)} \times 3 \text{ posiciones de fuente} = 36 \text{ medidas.}$

Todas ellas dan un total de 1810 medidas. Con estas previsiones calculamos que las medidas nos llevarán aproximadamente 30 horas. A eso deberemos añadir el tiempo de carga, descarga, montaje, desmontaje del equipo y descansos. A la postre se comprobó que cada medida suponía casi 1,5 minutos.

### 3.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ALGORITMO DE WINMLS

Este apartado trata de explicar el modo en el que el programa winMLS calcula los parámetros acústicos. Para ello se necesita una introducción teórica de los conceptos de respuesta al impulso (IR) y sistema lineal e invariante temporal (LTI)

Todas las señales, incluidas las acústicas, pueden representarse en función del tiempo o en función de la frecuencia. Según el teorema de Fourier, éstas se pueden representar mediante la superposición de señales elementales armónicas, como el seno o el coseno.

RESPUESTA AL IMPULSO

WinMLS calcula los parámetros acústicos a partir de la respuesta al impulso  $h(t)$  que ofrece el recinto que se esté estudiando. La respuesta al impulso es la respuesta de un sistema LTI (en este caso el recinto a estudiar) frente a una entrada impulsiva representada por la función delta de Dirac  $\delta(t)$ .

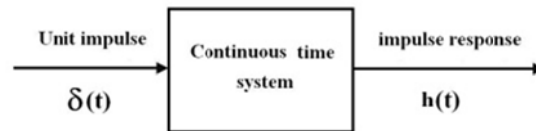


Figura 3.4 Esquema del comportamiento de un sistema LTI

La teoría de sistemas nos indica que mediante la excitación de un sistema LTI (en el caso de la acústica arquitectónica un recinto o una sala) con una entrada impulsiva  $x(t) = \delta(t)$ , obtenemos en su salida  $y(x)$  la respuesta al impulso  $h(t)$ . Con ello se logra el poder predecir el comportamiento del sistema ante cualquier entrada  $x(t)$ , es decir, se caracteriza por completo.

El impulso, representado por la delta de Dirac, es una línea en el dominio tiempo y de amplitud unitaria, por lo tanto podemos decir que es cero para todo  $t \neq 0$  y su valor en  $t=0$  debe ser infinito.

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$

Figura 3.5 Representación matemática y gráfica de una delta de Dirac

Es necesario que el sistema sea lineal e invariante temporal (asumimos que para el estudio de acústica arquitectónica, todos los recintos cumplen esta característica). Lineal quiere decir que una entrada compuesta por la suma ponderada de varias señales tiene que dar la suma ponderada de las respuestas del sistema a cada una de esas señales. El concepto de invariabilidad temporal implica que el sistema, ante un desplazamiento temporal en su señal de entrada, ocasiona idéntico desplazamiento en su señal de salida.

A efectos prácticos, winMLS excitará la sala mediante la emisión de una señal  $x(t)$  por parte de una fuente sonora, la cual se considera la entrada al sistema. La salida del mismo  $y(t)$  se registra mediante un micrófono que graba la señal obtenida y que se compone tanto del sonido directo de la fuente sonora, como de la aportación del recinto.

No obstante, lo que emite la fuente sonora no es una delta de Dirac, sino lo que se denominan “barridos sinusoidales” o señales MLS. Se utilizan estas señales dada la

dificultad de generar la función  $\delta(t)$  ya sea por parte de un equipo sonoro, petardos, explosión de globos... Además son más vulnerables frente a variaciones temporales. [Referencias]

En éste caso, la señal de excitación elegida ha sido la de “barridos sinusoidales” o sweeps ya que éstos proporcionan una cantidad de energía suficiente para todas las bandas de frecuencia, mayor inmunidad contra la distorsión y mejor relación señal – ruido. Es una manera más fiable de calcular la respuesta al impulso que utilizando MLS, tal y como se señala en [Referencia]

Conociendo la señal de entrada  $x(t)$  (sweeps) y la de salida  $y(t)$  (grabado por el micrófono), a partir de una deconvolución el programa es capaz de calcular la respuesta al impulso  $h(t)$ , la cual utiliza para calcular los restantes parámetros conforme a ISO3382, aplicando a la señal las fórmulas correspondientes para hallar cada parámetro.

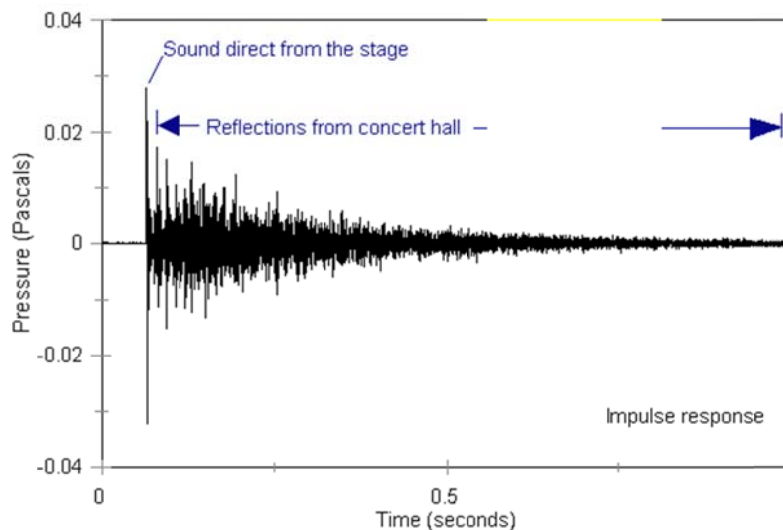


Figura 3.6 Respuesta al impulso en el dominio temporal

## DEFINICIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS

La Norma ISO 3382-2 establece una serie de parámetros acústicos para incluir en un informe normalizado. Si bien especifica en su introducción que el parámetro más significativo es el tiempo de reverberación, también presenta conceptos y detalles de procedimientos de medición para algunas mediciones más recientes, no constituyendo estas una parte formal de las especificaciones de la primera parte de la norma.

No obstante se presentan resultados para todos los parámetros, especificados en el Anexo A.4, aunque como dice la Norma, exista todavía mucho trabajo por hacer para determinar qué mediciones son las más adecuadas para una estandarización.

Todas estas medidas se basan en la respuesta impulsiva y se definen de la siguiente manera:

#### TIEMPO DE REVERBERACIÓN:

Duración requerida para que la densidad acústica media de un recinto decrezca 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado. Se expresa en segundos.

Puede evaluarse basándose en un rango dinámico inferior a 60 dB y extrapolado a un tiempo de decrecimiento de 60 dB. A continuación se denomina en consecuencia: T30 si el rango dinámico ha sido de 30 dB (desde que baja 5 dB hasta que cae 35 dB).

#### EDT (EARLY DECAY TIME)

El tiempo de reverberación inicial se debe evaluar a partir de la pendiente de las curvas de respuesta impulsiva integrada (como el tiempo de reverberación convencional). La pendiente de la curva de decrecimiento se debería determinar a partir de la pendiente de la línea de regresión lineal "con mejor ajuste", correspondiente a los 10 primeros decibelios del decrecimiento (entre 0 dB y -10 dB). Los tiempos de reverberación se deberían calcular a partir de la pendiente, como el tiempo requerido para un decrecimiento de 60 dB.

El tiempo de reverberación inicial es subjetivamente más importante y está relacionado con la reverberación percibida, mientras que T está relacionada con las propiedades físicas del auditorio.

#### G (SONORIDAD)

La fuerza sonora, G, es la relación del cociente logarítmico de la energía acústica (presión acústica cuadrática e integrada) de la respuesta impulsiva medida y la respuesta medida en campo libre a una distancia de 10 m de la fuente sonora:

$$G = 10 \lg \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt}$$

#### C80 (CLARIDAD)

Este parámetro relaciona las energías precoces y tardías. Concretamente calcula un límite temporal precoz de 80 ms. Usado para caracterizar auditorios y salas de conciertos.

$$C_{80} = 10 \lg \frac{\int_0^{0,08} p^2(t) dt}{\int_{0,08}^{\infty} p_{10}^2(t) dt}$$

#### D50 (DEFINICIÓN)

También relaciona energías precoces y tardías, utiliza un límite temporal precoz de 50 ms. Es utilizado para describir salas orientadas a la utilización de la palabra. En [4] (*WinMLS 2004 Reference Documentation*) y en [1] (*ISO 3382-1*) utiliza la misma fórmula; en el primer caso en tanto por cien. Se expresa a continuación en tanto por uno, tal y como aparece en [1] (*ISO 3382-1*).

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt}$$

#### T<sub>s</sub> (TIEMPO CENTRAL)

Es el tiempo del centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática. Se mide en segundos. En [4] (*WinMLS 2004 Reference Documentation*) utiliza la notación T<sub>c</sub>

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

#### J<sub>LF</sub> (ENERGÍA LATERAL PRECOZ O EFICIENCIA LATERAL)

La fracción de energía que llega lateralmente dentro de los 80 ms iniciales, se puede medir a partir de las respuestas impulsivas de un micrófono omnidireccional y de un micrófono bidireccional de respuesta en ocho, mediante el uso de la siguiente ecuación

$$J_{LF} = \frac{\int_{0,005}^{0,08} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,08} p^2(t) dt}$$

donde P<sub>L</sub> es la presión acústica instantánea en la respuesta impulsiva del auditorio medida con un micrófono bidireccional de respuesta en ocho.

#### IACC (INTER-AURAL CROSS CORRELATION COEFFICIENTS)

Estudios subjetivos de los auditorios han demostrado que los coeficientes de correlación cruzada interaurales IACC, medidos tanto en una cabeza artificial como con una real, se corresponden bien con la calidad subjetiva “impresión espacial” en una sala de conciertos.

La función de correlación cruzada interaural normalizada IACF se define

$$IACF_{t_1, t_2}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_L(t) \cdot p_r(t + \tau) dt}{\left[ \int_{t_1}^{t_2} p_L^2(t) \cdot \int_{t_1}^{t_2} p_R^2(t) dt \right]^{1/2}}$$



Donde  $x_L$  es la respuesta impulsiva de la entrada del canal auditivo izquierdo y  $x_R$  es la respuesta impulsiva en la entrada del canal auditivo derecho.

Los coeficientes de correlación cruzada interaurales, IACC, vienen dados por la siguiente ecuación:

$$IACC_{t_1,t_2} = \text{máx}[IACC_{t_1,t_2}(\tau)] \text{ para } -1\text{ms} < \tau < +1\text{ms}$$

- a)  $IACC_A$ , donde  $t_1 = 0$  s y  $t_2 = 1$  s
- b)  $IACC_E$ , donde  $t_1 = 0$  s y  $t_2 = 80$  ms
- c)  $IACC_L$  donde  $t_1 = 80$  ms y  $t_2 = 1$  s

### 3.5 ORGANIZACIÓN Y PLAN DE MEDIDA

Para la realización de un número tan amplio de medidas debemos preparar una organización que nos pueda facilitar la realización de las mismas así como nos permita una mayor eficiencia y aprovechamiento de las horas que se empleen.

#### ORGANIZACIÓN

---

Disponemos de un equipo 6 personas para realizar la tarea: Miguel Arana, Ricardo San Martín, Jorge Machín, Verónica Hernández, Ignacio Aranzadi y Abel Arregui.

Entre todos nos encargaremos de todo el trabajo de campo. Tenemos que tener en cuenta los horarios disponibles del auditorio. Para ello contamos con la ayuda del encargado de mantenimiento del Conservatorio Superior de Música de Navarra, con el que deberemos ponernos de acuerdo en los horarios.

#### PLAN DE MEDIDA

---

El plan de medida se divide en dos partes diferenciadas: caracterización y medidas exhaustivas.

CARACTERIZACIÓN: 13 DE OCTUBRE DE 2011

La haremos en un una sola sesión y trata de tomar medidas básicas (3 posiciones de fuente y 4 posiciones de receptor). De ésta forma nos aseguramos tener medidas suficientes para una caracterización básica por si hubiera problemas más tarde con la toma de medidas exhaustivas.

El plan de medida se adjunta completo en el anexo 2.

#### TOMA DE MEDIDAS EXHAUSTIVAS

Como se ha dicho anteriormente, el objetivo de estas medidas es tomar tantas como butacas haya en el auditorio (375).

Se realizarán medidas de parámetros monoaurales para 3 posiciones de fuente (2,3 y 4), JLF y binaurales para una posición de fuente (P1).

El plan de medida completo se adjunta en el anexo 2.

## 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

La ISO 3382-1, además de describir el equipo y especificar número y forma de las mediciones, establece la forma de expresión de los resultados: así como para el tiempo de reverberación sugiere la valoración de la sala con un solo indicador (formado por la media de posiciones de fuente y micrófonos) para el resto de parámetros desaconseja promediar sobre la totalidad de las posiciones de micrófono en una sala.

Para evaluar estos resultados, en primer lugar se deben extraer los mismos desde el programa winMLS y adecuarlos para que sean fáciles de manejar por el software con el que realizaremos cálculos sobre ellos.

Este apartado explica la forma en que los datos han sido tratados desde su extracción y los resultados que se han obtenido. En el punto 4.1 se muestra un análisis descriptivo del auditorio. Para ello se han utilizado dos herramientas fundamentales, que son Microsoft Excel y Matlab.

En 4.2 se desarrolla el estudio de normalidad de los datos, por medio de los programas SPSS y Matlab. Sin embargo, el estudio del principal objetivo de este proyecto se realiza en el apartado 4.3 con la generación de pruebas aleatorias, simulando la realización de una cantidad considerable de informes normalizados con diferentes posiciones de micrófono y fuente.

No se puede olvidar que el objeto del proyecto consiste en analizar la incertidumbre en la determinación de los parámetros acústicos medidos mediante la ISO 3382-1. Para evaluarlo y valiéndonos del conocimiento de todos los valores, para cada una de las butacas, se proponen varias técnicas:

- 1.- Hallar las dos medidas que, cumpliendo la norma, sean más distantes entre sí y evaluar su diferencia en JND<sup>1</sup>.
- 2.- Calcular estadísticamente la probabilidad de que una medida normalizada del tiempo de reverberación tomada al azar esté dentro de  $\pm 0,5$  JND de la media.
- 3.- Evaluar, para el parámetro de tiempo de reverberación, la diferencia entre combinaciones de dos posiciones de fuente, en JND.
- 4.- Calcular estadísticamente la probabilidad de que una medida normalizada del resto de parámetros tomada al azar esté dentro de  $\pm 0,5$  JND de la media, para cada cuadrante.

En el apartado 4.3, en el que se desarrollan todas estas técnicas, se explica detalladamente el proceso de elección de las muestras para que sean conforme a la norma.

---

<sup>1</sup> JND (Just Noticeable Difference, mínima diferencia perceptible) es una magnitud que mide la mínima diferencia en una sensación que es perceptible por el ser humano, siendo 1 la mínima. Por debajo de 1 se considera que no somos capaces de distinguir. [2] Apartado 1.4.2 San Martín, R. "Precisión en la medida de parámetros derivados de la respuesta al impulso en acústica de salas."

#### 4.1 AJUSTE E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Con el equipo correctamente preparado y winMLS listo, ya se puede comenzar la realización de las medidas pulsando en el icono verde “Go” (señalado en la figura 4.1)



Figura 4.1 Menú principal de winMLS

Inmediatamente la fuente comienza a emitir y cuando ésta acaba, el programa calcula la respuesta al impulso. WinMLS permite guardarla con formato \*.wmb (winMLS binary files) y permite asignar un Título y Comentario como se aprecia en la Figura 4.2.

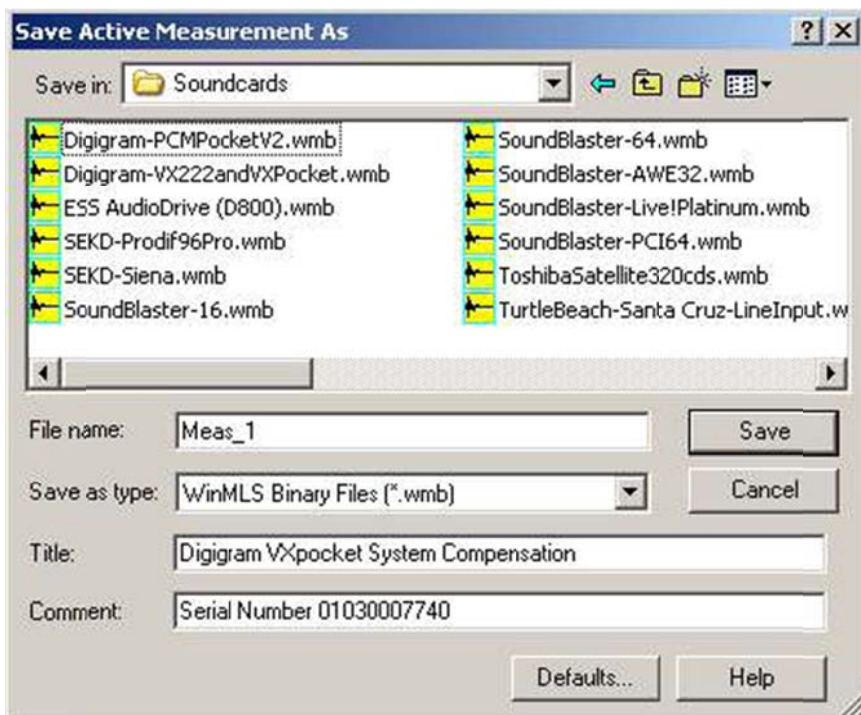


Figura 4.2 Panel de guardado de winMLS

Sin embargo lo que interesa son los parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso. Como en el “setup” que se ha preparado en el punto 3.3 de este documento ya se especifican los parámetros que se quieren calcular, se procede a ello. Se hace desde el menú *room acoustic* → *user defined* → *Calculate*.

En la Figura 4.3 se muestra la ventana de parámetros resultante. Una tabla con ciertos valores por parámetro y frecuencia. Recordemos que esta misma operación se ha de realizar, según los cálculos en 3.3, 1810 veces. Por ello se necesita automatizar de la mejor manera posible.

F(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
snr(dB)	14.4	23.1	27.7	33.9	36.3	33.7	26.5	16.6
edr(dB)	20.6	33.9	38.9	46.3	48.0	45.7	39.1	29.9
T15(s)	3.02	1.71	1.53	1.17	1.23	1.13	1.14	0.91
corr	-0.997	-0.990	-0.992	-0.999	-0.998	-0.999	-0.999	-0.999
C50(dB)	0.6	-8.5	-9.7	-0.6	-0.7	0.2	-0.2	2.3
C80(dB)	1.2	-5.0	-5.9	2.0	1.8	3.5	3.5	6.4
r(m)	228.2							

Copy Print Help — Data Acceptable — Data Questionable

Figura 4.3 Ventana de resultados de winMLS

Por ello, se va a configurar el programa para que cada vez que se calcule, exporte automáticamente los resultados a un archivo .txt. En el menú de opciones de cálculo (Figura 4.4) se debe activar el checkbox "Text-file".

Calculation Options

Microphone type(s): Single omni-directional

Parameter(s): Reverb times

Measurement(s):  
 Omni mic: AnalysisTestSig  
 Not used: AnalysisTestSig

Bandwidth: Octave

Send result to:  
 Pop-up window  
 Clipboard  
 Printer  
 Text-file

Display this before calculating parameters

OK Cancel Help

Figura 4.4 Ventana de opciones de cálculo de winMLS

Si esta misma operación se repite todas las veces, obtendremos un fichero de texto con los valores de parámetro para cada butaca y posición de fuente. Lógicamente los datos por separado no sirven de nada: para hacer cálculos sobre ellos se necesita tenerlos agrupados por parámetros.

Por ello, mediante el comando de MS-DOS `type *.txt > ficheroSalida.txt` se logra la agrupación de los ficheros .txt en uno solo.

Los datos de este fichero contendrán los valores de los parámetros acústicos para las 375 butacas en una posición de fuente concreta. Se repetirá la acción anterior hasta disponer de un fichero txt para cada posición.

Copiando los datos del fichero .txt a Excel, ya solo queda agruparlos por parámetros. Para ello desarrollamos una hoja Excel específica utilizando la función INDICE. Estos archivos también muestran gráficas de medias por frecuencia, valores medios, percentiles, máximos y mínimos, histogramas y otros datos de interés. Se pueden consultar en la carpeta “excel definitivo” de este proyecto.

Ante la gran cantidad de datos a representar y su consecuente dificultad para su interpretación, también se ha preparado un programa desarrollado en matlab, el cual representa gráficamente el valor de cada butaca mediante colores.

Dicho programa se diferencia entre “representación” y “diferencia entre fuentes” (Figura 4.5) de tal manera que lo que se verá representado en el primer caso será el valor de cada butaca y en el segundo, la diferencia del valor de un parámetro de cada butaca en una posición de fuente respecto a otra posición.



Figura 4.5 Ventana de inicio del programa diseñado en matlab

Para la representación simple bastará, como se ve en la Figura 4.6 seleccionar posición de fuente, parámetro y frecuencia. Si marcamos la casilla de JND, la representación se hará en valores de JND respecto al valor de la media total, además de señalar en la barra de leyenda el porcentaje de butacas que se encuentran en cada rango de valores.

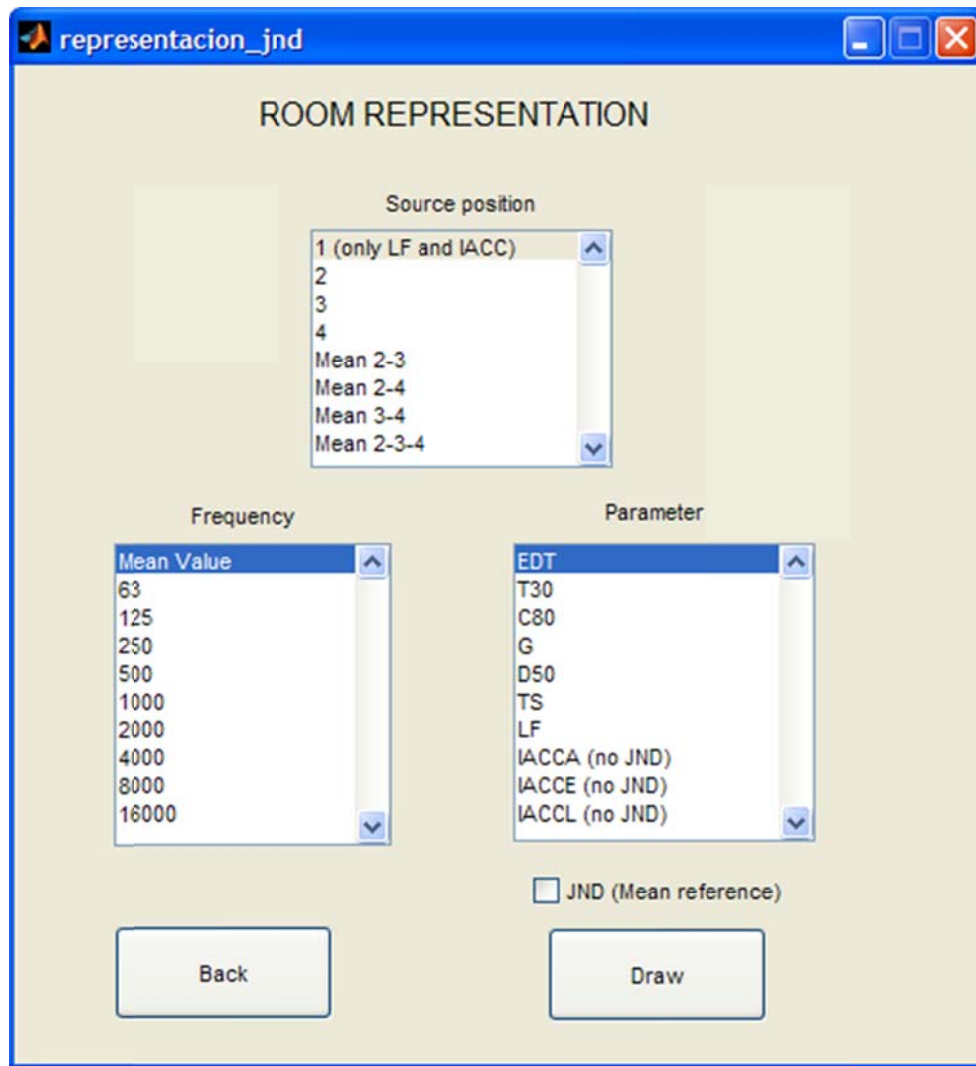


Figura 4.6 Representación del auditorio

En cuanto a la representación de diferencia entre fuentes (Figura 4.7): funciona exactamente como la representación simple, con la salvedad de elegir dos posiciones de fuente (serán las que se comparen). El resultado será el valor de cada butaca en la posición de fuente A (de referencia) menos el valor de cada butaca en la posición de fuente B.

Notar que como posiciones de fuente se encuentran la combinación de dos en dos de éstas (*mean 2-3*, *mean 2-4*, etc), ya que para el tiempo de reverberación la ISO 3382-1 exige un mínimo de dos posiciones y de esta manera podremos evaluar las diferencias entre resultados normalizados.

También vemos que los parámetros LF e IACC solamente podemos representarlos en la posición de fuente llamada "1". Esto es porque no se dispone de datos para otras posiciones.

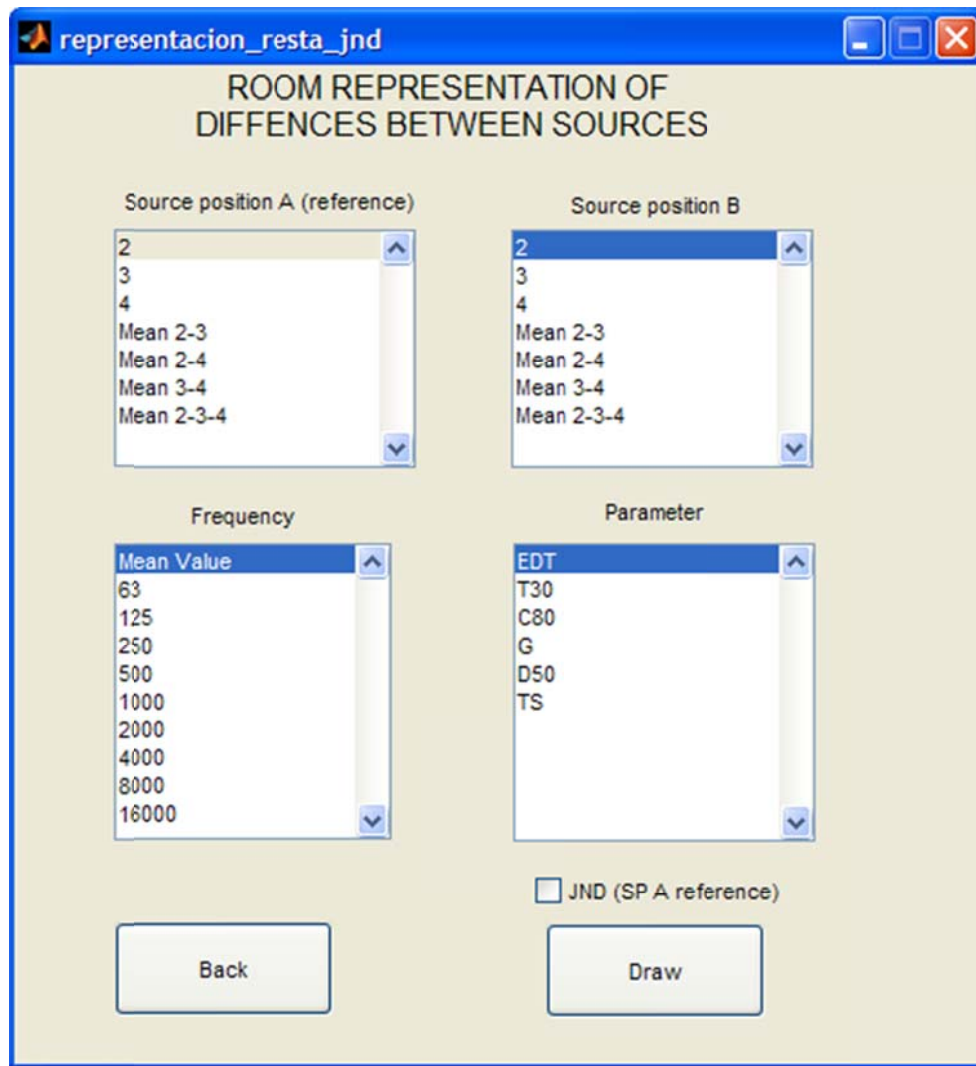


Figura 4.7 Representación de la diferencia entre fuentes

Una vez explicadas las técnicas que hemos utilizado para la representación de datos, se va a describir acústicamente el auditorio, utilizando para ello los valores representativos de cada parámetro.

#### RESULTADOS DESCRIPTIVOS DEL AUDITORIO

Vamos a exponer por una parte el tiempo de reverberación, T30 y por otra el resto de parámetros. Se hace de esta forma ya que la ISO establece diferentes maneras de expresar los resultados. Destacar que todas las mediciones se han realizado para un estado de inocupación del auditorio, esto es, con todas las butacas vacías. Por consiguiente los resultados expresados a continuación durante toda esta memoria corresponden a estas condiciones.

Los valores JND para cada parámetro citados en esta memoria son los indicados en la Tabla A.1 de la ISO 3382-1.



## T30 (TIEMPO DE REVERBERACIÓN)

Según el punto 8 de la norma ISO 3382-1 el tiempo de reverberación puede promediarse espacialmente para dar un valor del conjunto del recinto por frecuencia, haciendo la media aritmética de todas las posiciones de micrófono y fuente. En la Figura 4.8 se representa de ésta manera.

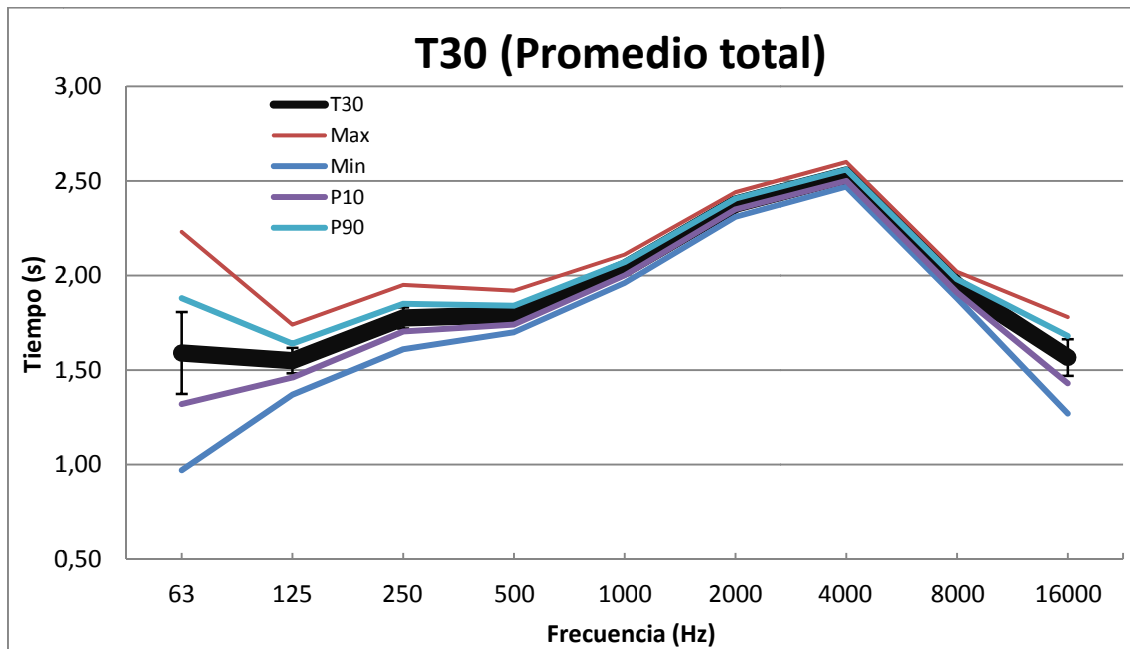


Figura 4.8 T30 medio, máximo, mínimo y percentiles del promedio global de todas las butacas y posiciones de fuente

No obstante, en el punto 9 de la norma, titulado “Expresión de resultados. Tablas y curvas” establece la forma de caracterizar con un valor único también en frecuencias: T30mid (promediado aritmético de las frecuencias 500 y 1000 Hz)

En el caso de este auditorio el resultado es, para estado de inocupación, de:

De esta forma se han expresado los resultados conforme a la norma. Hay que tener en cuenta que estos valores vienen derivados de la toma de medidas de las 375 butacas y 3 posiciones de fuente distintas en el escenario. Medición notablemente detallada, teniendo en cuenta que el mínimo que establece la norma (y como se reproduce en el apartado 3.1 de este documento) es de 6 posiciones de micrófono y 2 de fuente sonora.

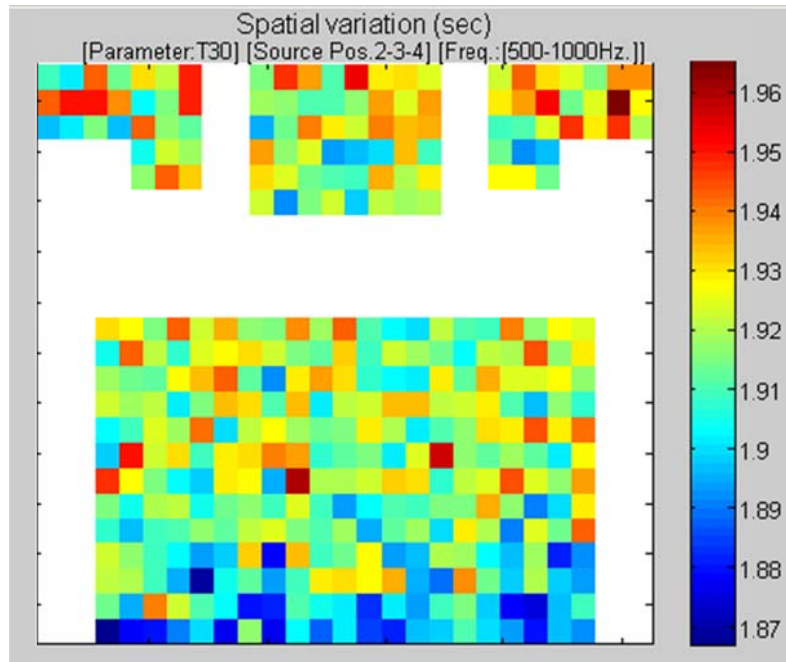


Figura 4.9 Representación espacial del T30mid.

Si se representa el valor promedio (de las tres posiciones de fuente) del tiempo de reverberación T30mid para cada butaca, obtenemos una representación como la de la Figura 4.9. Aunque se aprecia que los tiempos de reverberación menores están en las primeras filas y los mayores en la última, la realidad es que, como se aprecia en la Figura 4.10, todo el conjunto de las butacas tiene un valor comprendido entre  $\pm 1$ JND respecto a la media (1,92 segundos), lo que significa que en cuanto a la percepción humana se refiere, es un local muy homogéneo

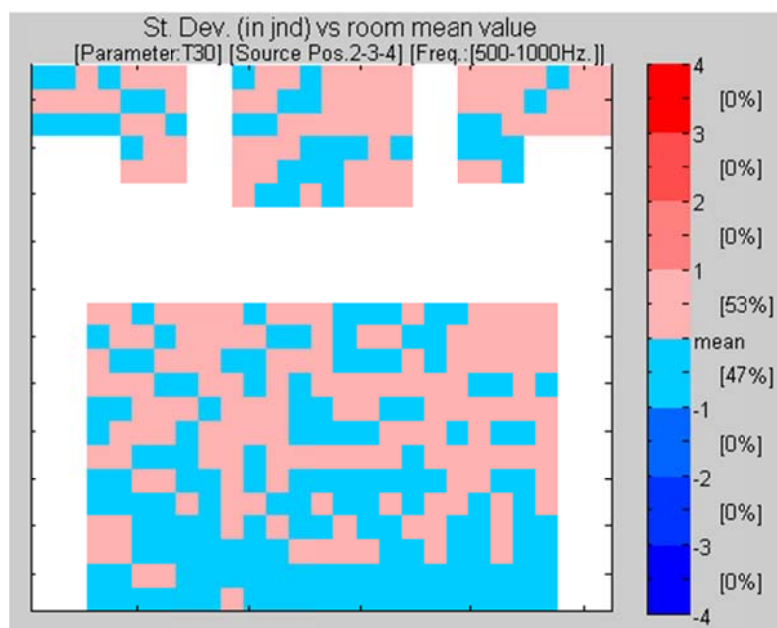


Figura 4.10 Representación espacial de la desviación (en jnd) frente a la media.

En la leyenda (la escala de colores) de la Figura 4.10 se pueden ver el número de butacas (en tanto por cien) que tienen un valor que está comprendido dentro de ese rango. Así pues se sabe que el 53% de las butacas tienen un T30mid superior a la media.

#### DIFERENCIA ENTRE POSICIONES DE FUENTE

Los resultados mostrados anteriormente están expresados conforme a norma ISO 3382-1. Sin embargo tanto el número de posiciones de micrófono como de fuente es mucho mayor a la mínima requerida.

Por ello, en este apartado vamos a mostrar las diferencias de resultados normalizados utilizando requisitos mínimos para las posiciones de fuente (2). Podríamos también analizar las diferencias entre posiciones de fuente simples, pero como el objeto de este proyecto es evaluar resultados conforme a ISO, no lo vamos a hacer.

A continuación expresamos valores del T30mid para todo el auditorio, calculado con el promedio de 2 posiciones de fuente (recordar que T30mid para todo el auditorio, calculado mediante el promedio de 3 posiciones de fuente es de T30mid = 1,92 segundos):

La única diferencia viene en el promedio de las posiciones 3 y 4. Sabiendo que el JND es el 5% de 1,92 segundos: 0,1 segundos, vemos que hay 0,1 JND de diferencia, por lo tanto no sería perceptible por el oído humano. Se puede consultar el archivo Excel “diferencia entre grupos de fuentes 375 butacas.xlsx” los cálculos de diferencia. En la Figura 4.11 se presenta un resumen de los resultados.

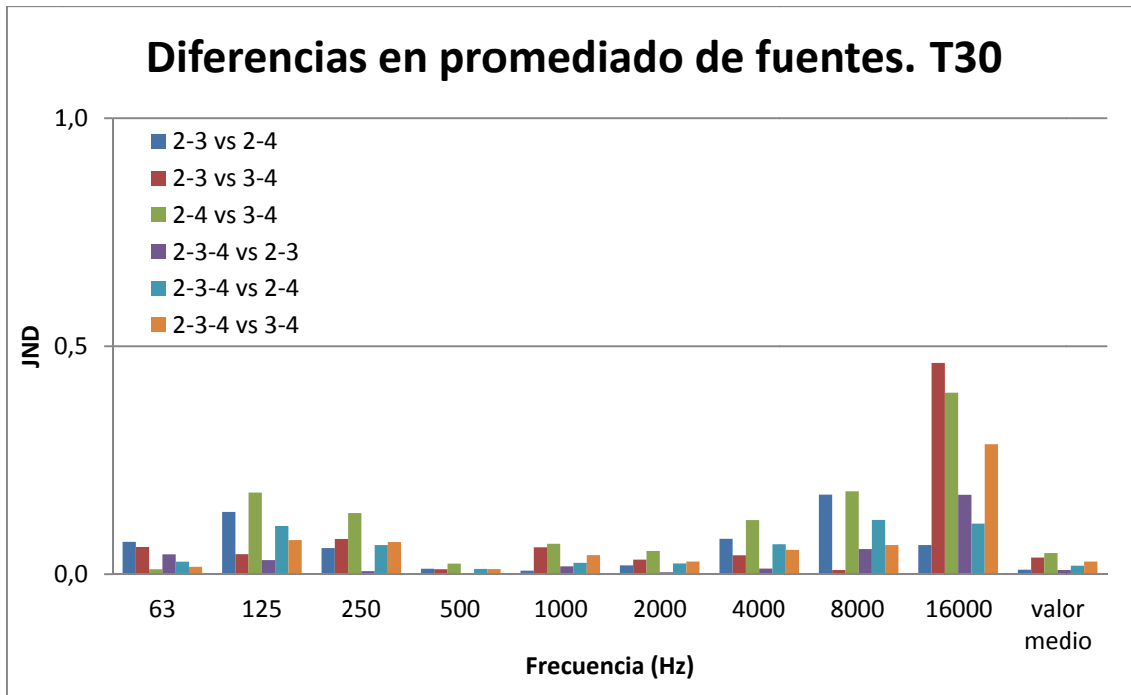


Figura 4.11 Diferencias en JND del T30 con diferentes promediados, por frecuencias

Se aprecia (Figura 4.11) que la mayor diferencia es entre promediado 2-3 y 3-4 a 16 kHz y ni siquiera llega a 0,5 JND. El mismo cálculo para la dicha frecuencia y promediado se representa de diferente forma en la Figura 4.12, la cual representa la diferencia en JND en cada butaca.

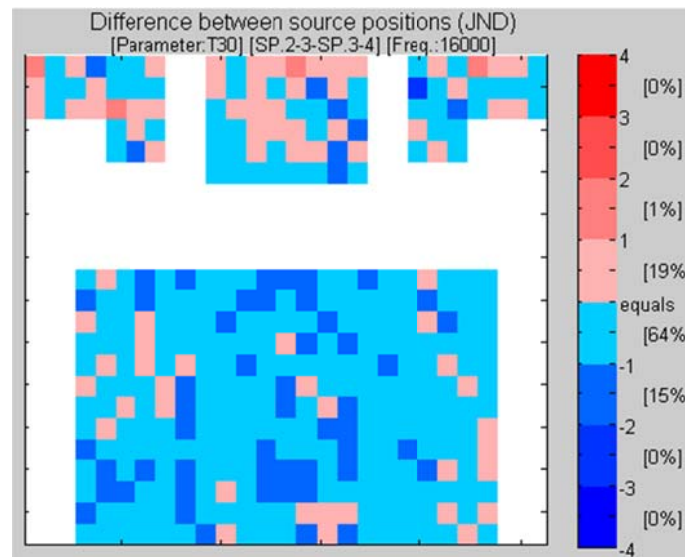


Figura 4.12 Diferencia en 16 kHz de promediado 2-3 vs 3-4 y % de butacas en cada rango

Se puede utilizar el software desarrollado en matlab (incluido en el proyecto) para generar todo tipo de combinaciones entre posiciones de fuente, parámetros y frecuencias. En este

documento se mostrarán únicamente las que se consideren de interés para el tema que se trata en cada momento.

## PARÁMETROS DEL ANEXO A DE ISO 3382-1

---

A continuación vamos a describir los resultados para el resto de parámetros que define la ISO, concretamente en el Anexo A de la misma. Aunque en la introducción ya avisa que son parámetros que todavía están en proceso de estandarización, recomienda su uso.

En este caso la norma desaconseja el promedio espacial de posiciones de micrófono, pero no especifica nada sobre el promedio de posiciones de fuente. Como en el tiempo de reverberación lo recomienda y después no especifica nada, se entiende que lo permite.

Por lo tanto, a continuación se van a presentar los valores medios de cada parámetro para cada butaca, promediados con las 3 posiciones de fuente (para estos parámetros, el mínimo de posiciones requeridas)

Los valores medios (expresados con el subíndice  $m$  aplicado al símbolo) también son formas normalizadas (Tabla A.1 de ISO 3382-1) de presentar los resultados de cada parámetro.

### SONORIDAD (G)

La sonoridad es un parámetro que varía de manera notable con la distancia (ver punto 3.4 de esta memoria), y se comprueba fácilmente representando el valor del mismo para cada butaca

El parámetro de sonoridad media ( $G_m$ ) se presenta tanto en dB (Figura 4.13) como en JND (Figura 4.14). El valor de JND para la sonoridad es siempre de 1 dB, por lo que en la Figura 4.14 lo que se muestra es los mismos datos pero agrupados en torno a la media de 1 en 1dB. De esta forma se representan zonas que son homogéneas para el oyente.

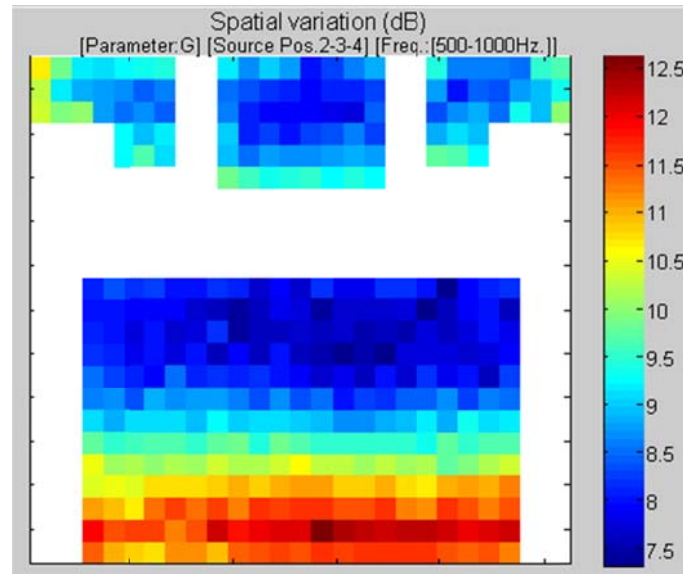


Figura 4.13 Sonoridad ( $G_m$ ) en el conjunto del auditorio

Según [5] Beranek, L. "Concert Halls and Opera Houses: How they sound. Tabla 4.3" el valor  $G_m$  recomendado para sala vacía es de 4 a 5,5 dB. La norma ISO 3382-1 en su tabla A.1 establece que el rango típico también para sala vacía es de -2 a +10 dB.

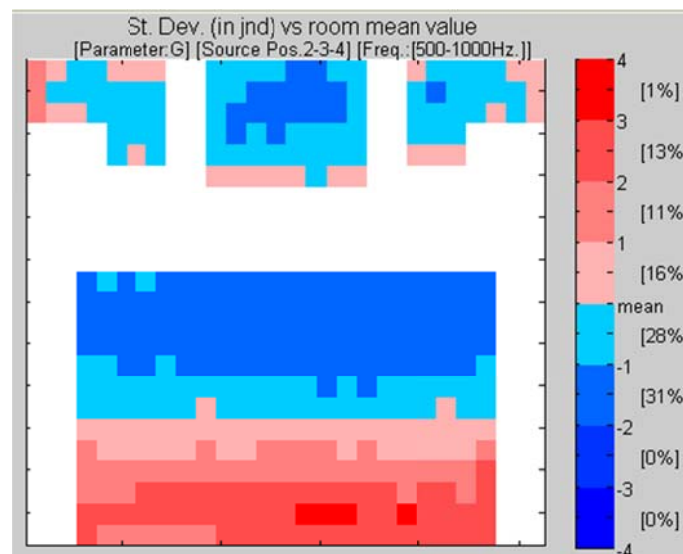


Figura 4.14 Desviación de sonoridad ( $G_m$ ) en JND en el conjunto del auditorio

Se puede ver claramente la influencia de la distancia y la posición de la fuente en las figuras anteriores. No obstante recordemos que es un valor promedio de 3 posiciones distintas y para valor medio (frecuencias 500 y 1000 Hz). Emplazamos al lector a utilizar el programa desarrollado en matlab para observar estas mismas gráficas para una sola posición de fuente y frecuencias altas, ya que se puede observar la posición y directividad de la fuente.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN INICIAL (EDT)

El tiempo de reverberación inicial medio ( $EDT_m$ ), representado por butaca en las figuras 4.15 (en segundos) y 4.16 (en JND) expresa la reverberación percibida subjetivamente por el oyente.

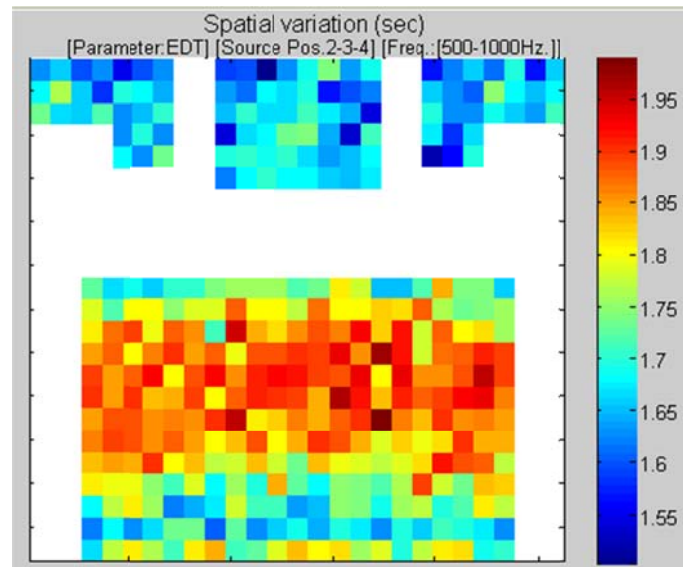


Figura 4.15 Tiempo de reverberación inicial ( $EDT_m$ ) para el conjunto del auditorio

Se observa que es parecido al tiempo de reverberación  $T30_{mid}$  con la particularidad que es menos homogéneo que éste (Figura 4.16). El parámetro  $EDT_m$  comprende el 53% de sus butacas entre el rango de media  $\pm 1JND$ , mientras que el  $T30_{mid}$  abarca el 100%.

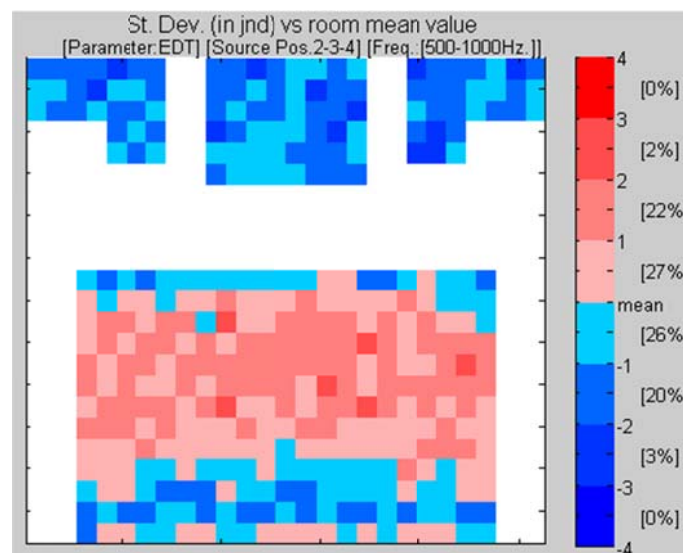


Figura 4.16 Desviación del tiempo de reverberación inicial ( $EDT_m$ ) en JND para el conjunto del auditorio

Los tiempos de reverberación inicial  $EDT_m$  alcanzan sus valores máximos en el centro de la platea, tal y como se observa en las Figuras 4.15 y 4.16. La norma ISO 3382-1 en su tabla A.1 establece el rango típico de 1 a 3 segundos para este parámetro.

CLARIDAD MUSICAL (C80)

Parámetro de gran importancia para el estudio de este auditorio, ya que evalúa el grado de separación entre los diferentes sonidos integrantes de una composición musical. En las Figuras 4.17 y 4.18 se representa el  $C80_m$  en dB y en JND respectivamente.

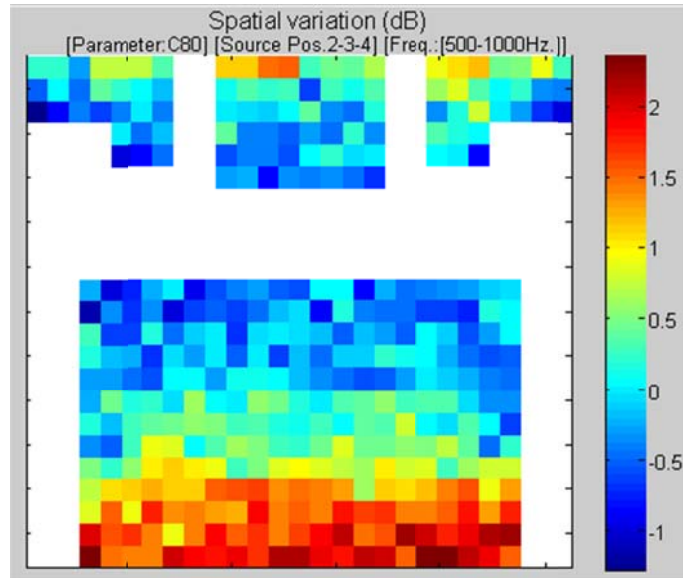


Figura 4.17 Claridad musical ( $C80_m$ ) para el conjunto del auditorio

En el caso de este parámetro, el valor JND también es de 1 dB. También es un parámetro sensible a la distancia (como D50 y TS) puesto que evalúa la energía precoz y la tardía. En la Figura 4.18 se puede apreciar que las primeras filas están recibiendo (lógicamente) mayor sonido directo con respecto al reverberado que en el resto del auditorio.

Se observa también en la última fila del palco un repunte de la claridad, probablemente debido a las primeras reflexiones provocadas por la pared posterior.

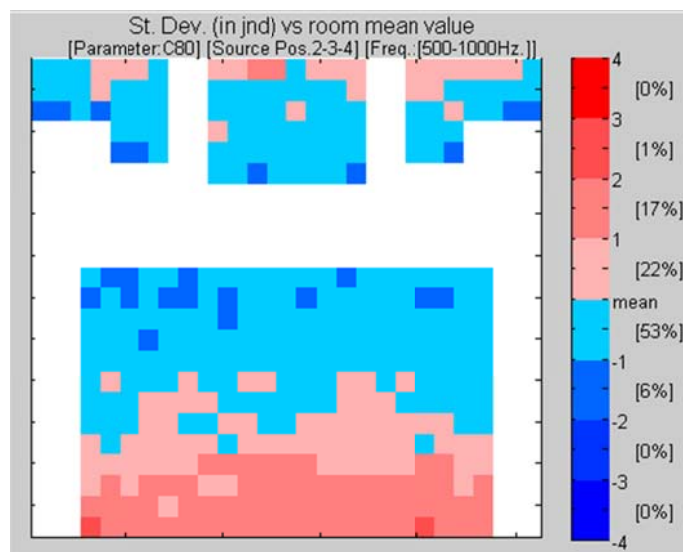


Figura 4.18 Desviación de la claridad musical ( $C80_m$ ) en JND para el conjunto del auditorio



Según [2] San Martín, R. “Precisión en la medida de parámetros derivados de la respuesta al impulso en acústica de salas. Tabla 1.1”, el rango recomendado para salas vacías de  $C80_m$  es de -4 a 0 dB. La norma ISO indica que el rango típico es de -5 a +5 dB.

#### DEFINICIÓN (D50)

Otro parámetro para medir una relación entre energía acústica precoz y la energía acústica total es la Definición (D50). En éste caso se evalúan las diferencias entre la energía que llega antes de 50 ms y la que llega después. Mide la inteligibilidad del mensaje oral.

Se utiliza para la evaluación de las condiciones acústicas en salas orientadas al uso de la palabra. Es un parámetro medido en tanto por cien y su JND es de 5%.

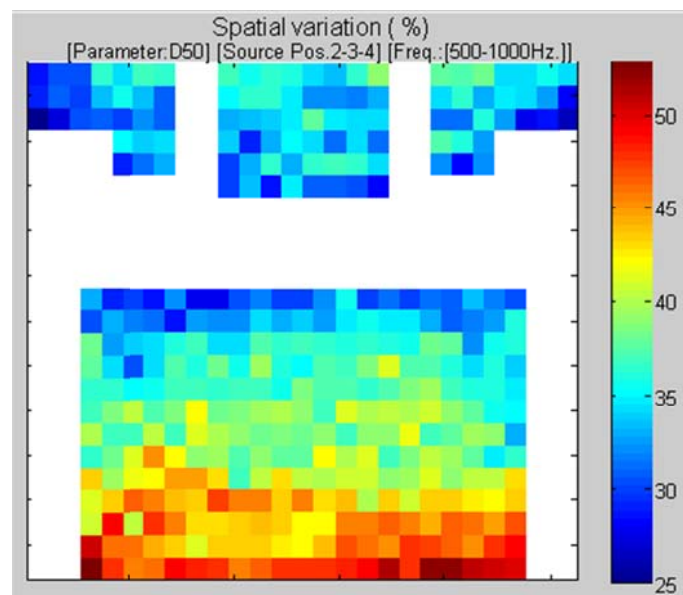


Figura 4.19 Definición ( $D50_m$ ) para el conjunto del auditorio

En las Figuras 4.19 y 4.20 se representa el valor medio (media de valores en frecuencias 500 y 1000Hz) de este parámetro ( $D50_m$ ). En la primera en tanto por cien y en la segunda en JND.

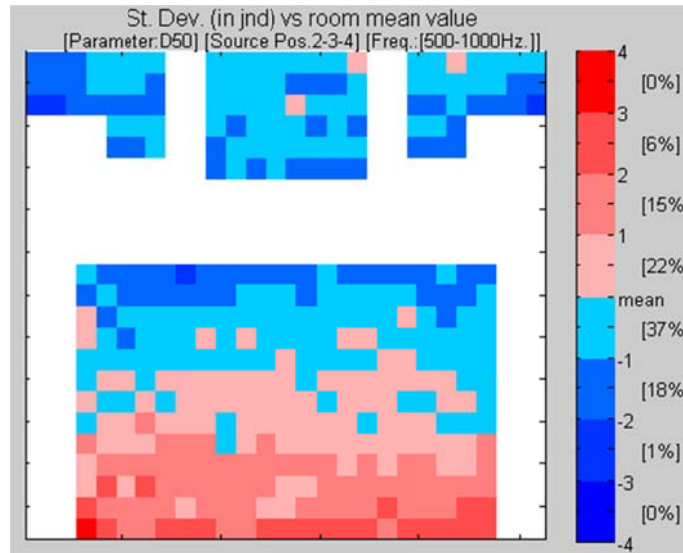


Figura 4.20 Desviación de la definición ( $D_{50,m}$ ) para el conjunto del auditorio

El valor recomendado en condiciones de sala ocupada es, para todas las bandas, un valor de más del 50%. La norma ISO 3382-1 indica que el rango típico se encuentra entre 30 y 70%.

#### TIEMPO CENTRAL (TS)

El tiempo central (TS) pertenece al grupo de parámetros que evalúan la relación entre la energía precoz y la tardía (como  $D_{50}$  y  $C_{80}$ ). En este caso el tiempo central es el tiempo del centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática y se mide en segundos.

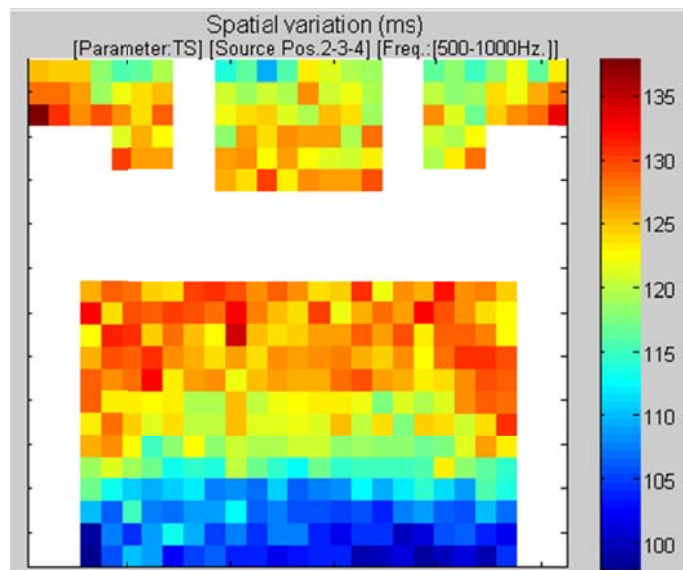


Figura 4.21 Tiempo central ( $TS_m$ ) para el conjunto del auditorio

Según la norma ISO 3382-1 el JND es de 10 milisegundos y el rango típico es de 60 a 260 milisegundos. En la Figura 4.21 se representa  $TS_m$  con valores en milisegundos y en la Figura 4.22 en JND

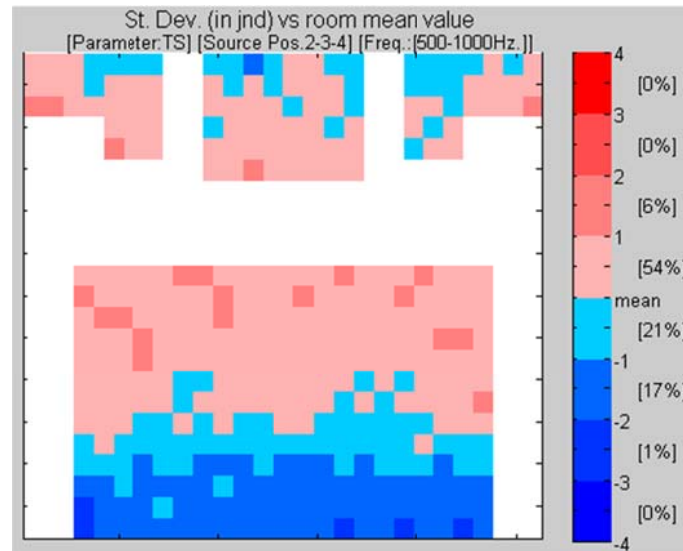


Figura 4.22 Desviación del tiempo central ( $TS_m$ ) para el conjunto del auditorio

#### PARÁMETROS MEDIDOS SIN CUMPLIR EXIGENCIAS MÍNIMAS DE ISO 3382-1

Como se ha especificado en la introducción y en los planes de medida, las mediciones de parámetros binaurales y eficiencia lateral se han realizado únicamente con una posición de fuente (denominada posición 1, se encuentra centrada en el escenario), por lo que no cumplen los requisitos mínimos que establece la norma (mínimo 3 posiciones de fuente para estos parámetros).

No obstante se van a presentar los resultados obtenidos.

#### EFICIENCIA LATERAL ( $J_{LF}$ )

La eficiencia lateral ( $J_{LF}$ ) es un parámetro que se asocia con la espaciosidad de la fuente y mide la energía lateral precoz. La fracción de energía  $J_{LF}$  que llega lateralmente dentro de los 80 ms iniciales se puede medir a partir de las respuestas impulsivas de un micrófono omnidireccional y de un micrófono bidireccional de respuesta en ocho.

Para promediar en frecuencias, en este caso y siguiendo la Tabla A.1 de la norma ISO 3382-1 se ha de realizar la media aritmética en frecuencias de 125 a 1000Hz.

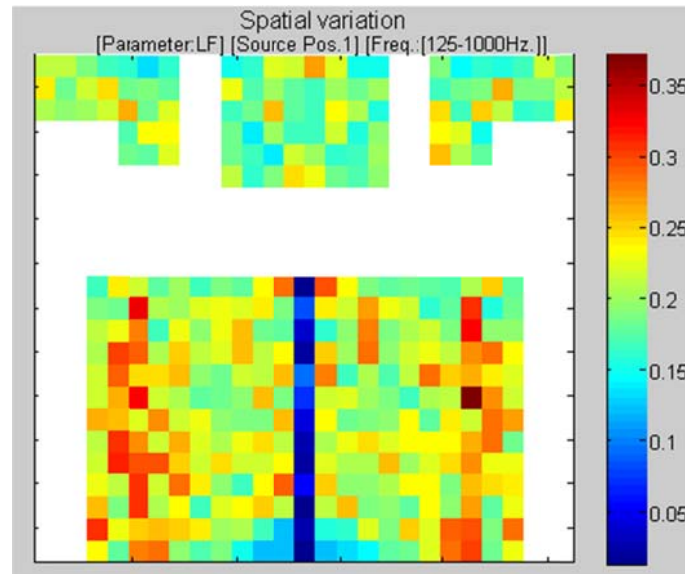


Figura 4.23 Eficiencia lateral ( $J_{LF}$ ) para el conjunto del auditorio

La eficiencia lateral es la relación entre la energía llegada de las paredes y la total en los primeros 80 milisegundos. Se puede apreciar en la fila central de la platea (Figura 4.23) valores de  $J_{LFm}$  cercanos al cero. En las Figuras 4.23 y 4.24 podemos ver una representación en magnitud y en JND respectivamente. El JND de este parámetro es de 0,05.

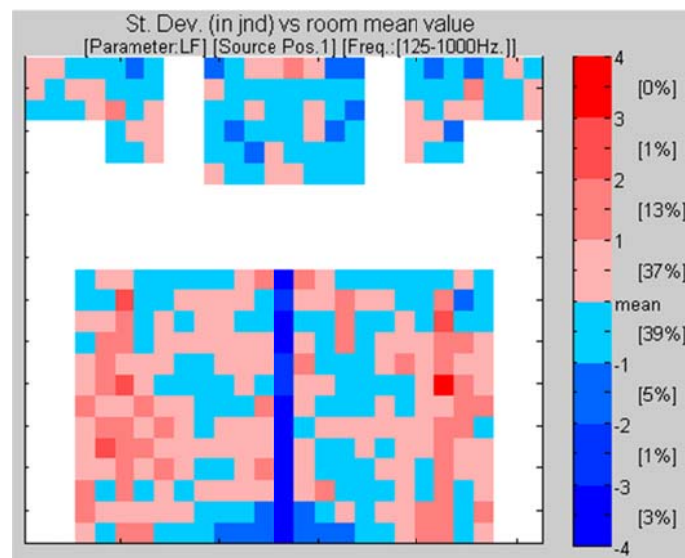


Figura 4.24 Desviación de la eficiencia lateral ( $J_{LF}$ ) para el conjunto del auditorio

Es un parámetro con gran dispersión (haber presentado los resultados como promedio de 3 posiciones de fuente lo hubiera reducido) como se puede ver en la Figura 4.24: el 23% de las butacas tienen un valor de  $J_{LFm}$  superior a  $\pm 1$  JND de diferencia.

El valor recomendado según Barron [6] para sala vacía es de 0,19.

#### COEFICIENTES DE CORRELACIÓN CRUZADA INTERAURAL (IACCA, IACCE, IACCL)

Para la evaluación del IACC, winMLS presenta 3 parámetros distintos (IACCA, IACCE, IACCL). Se miden mediante una cabeza artificial y evalúa la relación de energía que llega a

un oído respecto al otro. Ante la ausencia de un parámetro de valor medio en frecuencia recomendado por la ISO 3382-1 y según la tabla 1.I de [2] San Martín, R. “Precisión en la medida de parámetros derivados de la respuesta al impulso en acústica de salas.” se toma como figura de mérito la media aritmética de las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz.

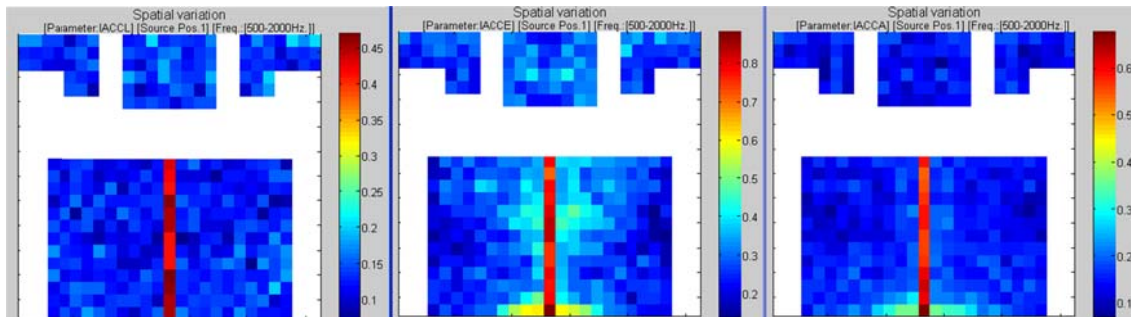


Figura 4.25 IACCA<sub>m</sub>, IACCE<sub>m</sub> e IACCL<sub>m</sub> para el conjunto del auditorio

En las Figuras 4.25 y 4.26 se presentan los tres parámetros juntos (promediado en frecuencias 500, 1000 y 2000Hz) en magnitud y en JND. El valor JND para estos parámetros se estima de 0,075 según la ISO 3382-1. En la Figura 4.25 se puede ver de izquierda a derecha IACCL<sub>m</sub>, IACCE<sub>m</sub> e IACCA<sub>m</sub> y en los tres se aprecia cierta simetría en la sala, sobre todo los valores extremadamente altos en la columna central de la platea.

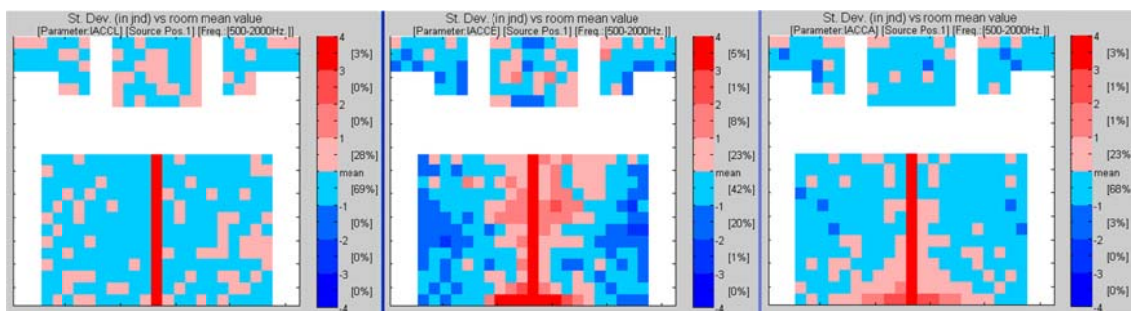


Figura 4.26 Desviación de IACCA<sub>m</sub>, IACCE<sub>m</sub> e IACCL<sub>m</sub> para el conjunto del auditorio

Según la tabla 1.I de [2] San Martín, R. “Precisión en la medida de parámetros derivados de la respuesta al impulso en acústica de salas.” el valor óptimo para sala vacía es de

El índice IACC<sub>E</sub> es una medida de la amplitud aparente de la fuente, ASW (Apparent Source Width) y el IACC<sub>L</sub> es una medida del sonido “envolvente”, LEV (Listener Envelopment). Potter [7] investigó los parámetros físicos que influyen en los atributos perceptivos de la espacialidad con el fin de establecer una relación entre las medidas psico-acústicas y medidas objetivas. Sus resultados muestran que el índice IACC es un parámetro que posee una sólida base psico-física para la evaluación acústica de la espacialidad.

El parámetro IACCL<sub>m</sub> en el 97% de butacas tiene su valor del dentro de  $\pm 1$  JND. El 3% restante pertenece a las butacas de la columna central de platea. Para IACCE<sub>m</sub> se aprecia mayor variabilidad (el 65% de las butacas están entre  $\pm 1$  JND).

## DIFERENCIAS DE LOS DATOS SEGÚN EN NÚMERO DE POSICIONES DE FUENTE TOMADAS

La norma ISO 3382-1 establece un mínimo de 3 posiciones de fuente para caracterizar una sala con los parámetros EDT, C80, D50, TS, G,  $J_{LF}$  e IACC. A continuación se procede a la comparación de los resultados obtenidos con 3 posiciones de fuente respecto a los obtenidos con 2 posiciones de fuente. Se realiza con los parámetros  $EDT_m$  y  $C80_m$  ya que son los más adecuados para la caracterización de un recinto de estas características.

### TIEMPO DE REVERBERACIÓN INICIAL (EDT)

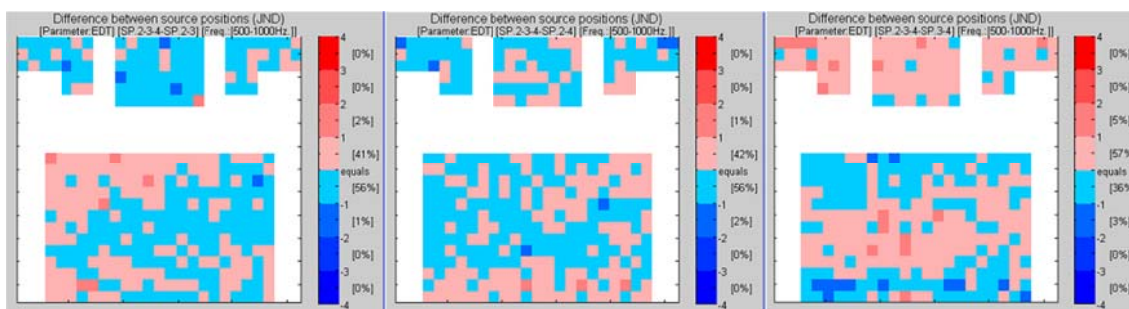


Figura 4.27 Diferencia en JND de valor de  $EDT_m$  con diferentes combinaciones de fuente.

La Figura 4.27 señala que si se hubiese caracterizado el auditorio con las posiciones de fuente 2 y 3, el 3% de las butacas darían un valor  $EDT_m$  superior a 1 JND de diferencia con respecto a la caracterización con 3 posiciones de fuente. Ocurre exactamente igual para el caso de la caracterización con las posiciones de fuente 2 y 4; lógicamente y como se puede apreciar en la figura, las butacas que superan 1 JND son distintas en ambos casos.

En cuanto a la diferencia de la caracterización con 3 posiciones de fuente respecto a las posiciones 3 y 4, el 8% de butacas superan 1 JND. En la Figura 4.27, la representación derecha lo muestra.

### CLARIDAD MUSICAL (C80)

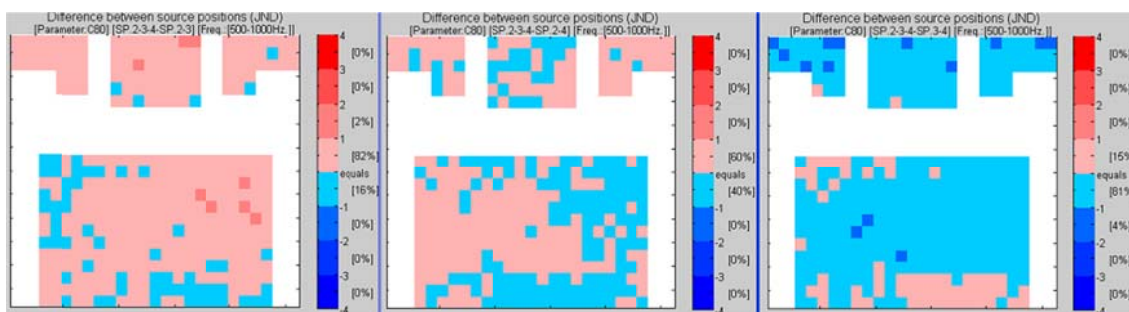


Figura 4.28 Diferencia en JND de valor de  $C80_m$  con diferentes combinaciones de fuente.

En el caso del valor medio de la claridad musical ( $C80_m$ ), los resultados son más dispares, como se ve en la Figura 4.28: mientras que los resultados de la caracterización del auditorio con las posiciones 2 y 4 serían perceptiblemente los mismos que con 3 posiciones de fuente (es decir, que ninguna butaca supera 1 JND de diferencia), en los otros casos es distinto.

Para posiciones de fuente 2 y 3, el 2% de las butacas tienen un valor de  $C80_m$  que se separa más de 1 JND respecto a la caracterización con 3 posiciones.

Por último, si se hubiera caracterizado con las posiciones de fuente 3 y 4, el 4% de las butacas superaría 1 JND el valor de la diferencia. En la Figura 4.28 (representación derecha) vemos que las butacas que superan 1 JND se sitúan fundamentalmente en el palco, especialmente la parte izquierda del mismo.

## 4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y TEST DE NORMALIDAD

En este apartado se analizan estadísticamente el conjunto de los datos. Por una parte, se han utilizado las hojas excel y el software desarrollado en matlab para añadirle funcionalidad de estadística descriptiva, esto es, representar histograma y calcular media, varianza, curtosis y asimetría. Por otra parte se ha analizado si los datos siguen una distribución Normal.

### 4.2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Para poder interpretar estadísticamente los datos, se ha implementado en el software desarrollado en matlab la posibilidad de calcular el histograma y otros parámetros estadísticos de los datos que hayamos seleccionado anteriormente. Un ejemplo es la Figura 4.29 en la que en la parte superior se puede ver la representación que se ha utilizado en apartados superiores y en la parte inferior un histograma con medidas de curtosis, asimetría, media y varianza.

También calcula el test de Lilliefors y el de Saphiro-Wilk, ambos para determinar si la distribución es normal o no.

Se utiliza la Figura 4.29 como ejemplo: en la carpeta "*representación + estadística 375*" se pueden representar todo tipo de combinaciones parámetro-fuente-frecuencia.

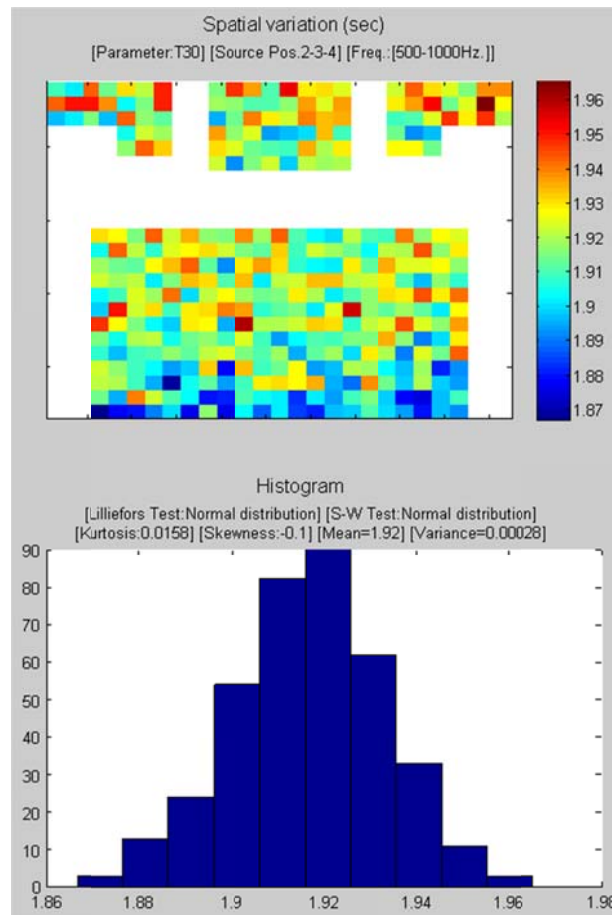


Figura 4.29 Estadísticos descriptivos y prueba de normalidad de  $T30_{mid}$

#### 4.2.2 TEST DE NORMALIDAD

Dentro de la estadística descriptiva ya se ha visto que se obtienen resultados de normalidad para los test de Lilliefors y Saphiro-Wilk. No obstante, se han vuelto a calcular, esta vez con SPSS y realizando también el Test de Kolmogorov-Smirnov.

Dado que los resultados para los datos de toda la sala eran variables (algunos casos la distribución es normal y otras no) se procedió también a calcular la normalidad por cuadrantes.

De esta forma, se ha desarrollado otro programa en matlab para que represente los datos extraídos de SPSS (el programa puede consultarse en la carpeta “normalidad matlab v2”). En su interfaz (Figura 4.30) se puede elegir el test, posición de fuente y parámetro. Si se pretende que el cálculo se haga por cuadrantes, hay que seleccionar la casilla inferior.



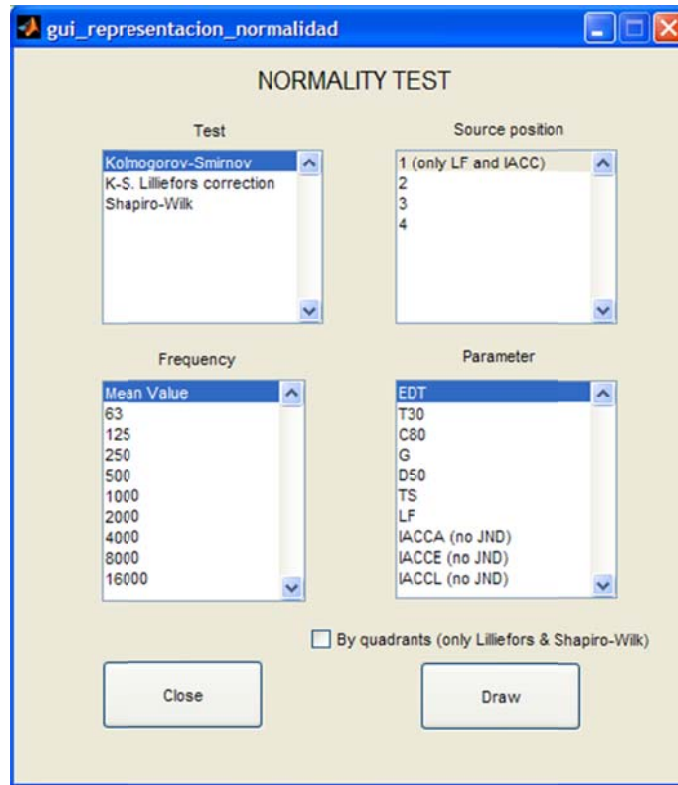


Figura 4.30 Interfaz del programa para cálculo de normalidad

El resultado lo podemos ver en la Figura 4.31: de verde los cuadrantes que son distribución normal y en rojo los que no lo son. En este caso se ha realizado el test de Lilliefors en la posición de fuente 2 y parámetro  $C80_m$ .

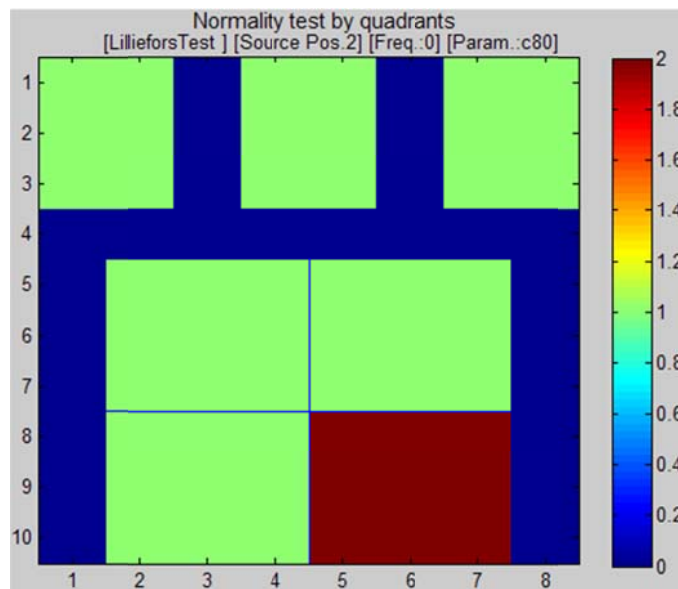


Figura 4.31 Resultado de normalidad (Lilliefors) por cuadrantes de  $C80_m$  (rojo=no, verde=si)

No se van a exponer a continuación los resultados de todos los test ya que se han obtenido diferentes resultados: algunos datos siguen distribución normal y otros no. Para mayor información se puede ejecutar el programa de matlab y consultarlo.

En el archivo normalidad\_Lilliefors.xlsx se ha realizado un resumen de normalidad para todos los parámetros, frecuencias y posiciones de fuente realizado con el test de Lilliefors.

### 4.3 PRUEBAS ALEATORIAS

Después de la caracterización acústica exhaustiva del auditorio, descrita en el punto 4.1, se procede en este punto al principal objetivo del proyecto: analizar los diversos resultados obtenidos a partir de informes ISO normalizados del auditorio.

#### 4.3.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha explicado anteriormente, la caracterización acústica proporcionada en el punto 4.1 cumple con creces los requisitos mínimos de la norma ISO 3382-1 en lo que a posiciones de micrófono se refiere.

Por ello, en este apartado vamos a elaborar, a partir de los datos de todo el auditorio, informes que cumplan la normativa, tomando para ello en número de posiciones de micrófono y fuente que se tomarían en un caso estándar.

La norma ISO 3382-1 establece que se han de tomar un mínimo de 6 posiciones de micrófono y éstas han de representar la totalidad del espacio. Dada la distribución de la audiencia, se ha decidido dividirla en 7 zonas o cuadrantes (tal y como se representa en la Figura 4.32), de tal forma que se pueda elegir una posición de micrófono de cada uno de ellos.

La audiencia del auditorio se compone de 375 butacas; no obstante muchas de ellas están tan cerca de paredes o superficies que no cumplen la norma ISO. Por ello, estas butacas se descartan de poder ser elegidas. La norma ISO también establece que debe haber una distancia mínima de 2 metros entre posiciones de micrófono: para evitar que esto ocurra (por ejemplo eligiendo posiciones contiguas de cuadrantes diferentes) se ha decidido descartar también las butacas que limitan los cuadrantes, de tal manera que eligiendo cualquier butaca, ésta no esté a menos de 2 metros de otra.

De esta forma quedan 286 butacas susceptibles de ser elegidas para tomar parte en el informe ISO, divididas como muestra la Figura 4.32:

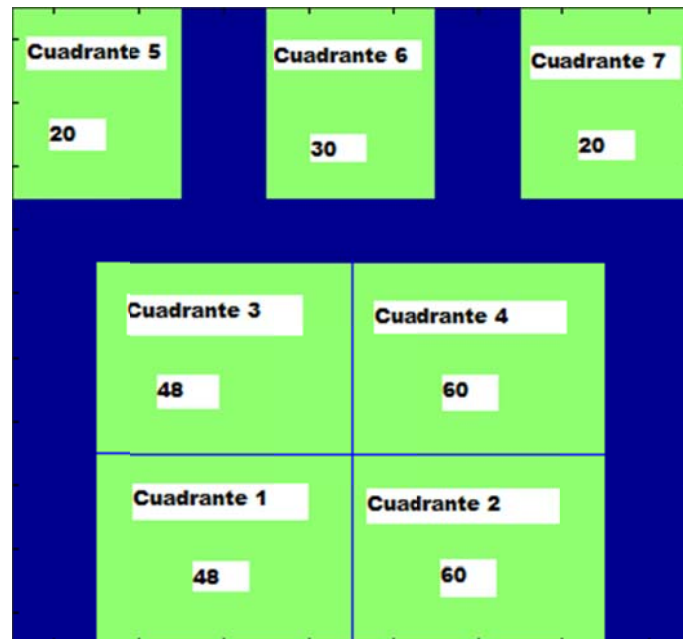


Figura 4.32 Distribución de cuadrantes y butacas después del descarte

A continuación se van a tomar diferentes combinaciones de 7 posiciones de micrófono (una por cada cuadrante) para distintas posiciones de fuente. De esta manera se pueden realizar un total de:

Casi 100.000 millones de combinaciones diferentes que dan lugar a otros tantos posibles informes ISO. Todo ello para una o un solo conjunto de posiciones de fuente.

Evaluando los resultados se pretende conocer si hay diferencias entre informes realizados conforme a la norma ISO y si las hay, describirlas y cuantificarlas.

#### CASOS EXTREMOS: MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE INFORMES NORMALIZADOS

Las primeras combinaciones de micrófono que vamos a comparar son las más extremas entre sí. Es decir, para cada cuadrante se van a buscar el valor máximo y el mínimo para un parámetro y frecuencia concreta; los valores máximos se promedian entre sí, al igual que los mínimos; acto seguido se comparan para evaluar su diferencia en JND.

Como ya se ha dicho en el punto 4.1, la norma establece diferentes formas de expresión de resultados para el tiempo de reverberación y los demás parámetros. Por ello, para el caso del parámetro TR, se promedian las posiciones de micrófono, pudiendo dar un solo resultado para todo el auditorio.

Sin embargo, para los demás parámetros la norma desaconseja su promedio, por lo que evaluaremos la diferencia en JND de distinta manera: ya que la norma dice que cada micrófono describe las condiciones locales y no recomienda su promedio, se van a comparar en cada cuadrante el valor máximo y el valor mínimo.

Para todo ello se han creado una serie de archivos Excel, todas ellas dentro de la carpeta “Análisis por cuadrantes - minmax - Zaleatorios”. Cada archivo corresponde a una fuente o combinación de fuentes distinta; en cada una de ellas, la hoja “min-max” calcula la diferencia entre el valor máximo y el mínimo (global y por cuadrantes), seleccionando el parámetro y la frecuencia. También ofrece valores como media y desviación típica.

Los parámetros que disponen de un JND relativo (T30 y EDT) son calculados con la referencia del valor mínimo. Se expresará siempre con un decimal, únicamente para evitar redondeos que puedan llevar a confusión (por ejemplo 0,6 se redondea sin decimales a 1).

A continuación se presentan algunos resultados de los parámetros, todos ellos de manera normalizada (tiempo de reverberación con promedios de 2 y 3 fuentes, los otros parámetros solamente con promedio de 3 fuentes)

#### TIEMPO DE REVERBERACIÓN (T30)

Se presentan en la Tabla 4.1 los resultados promediados conforme a ISO 3382-1 para el parámetro  $T30_{mid}$  con diferentes posiciones de fuente (ya que la norma establece un mínimo de 2).

Fuentes	Valor mínimo	Valor máximo	JND	Diferencia en JND
2-3	1,86	1,97	0,09	1,1
2-4	1,87	1,98	0,09	1,1
3-4	1,86	1,97	0,09	1,1
2-3-4	1,87	1,97	0,09	1,1

Tabla 4.1 Valores de  $T30_{mid}$  (en segundos) para todo el auditorio y diferencia entre ellos.

Para todas las posiciones de fuente hay diferencias perceptibles (>1 JND) entre los valores normalizados extremos.

#### TIEMPO DE REVERBERACIÓN INICIAL (EDT)

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de  $EDT_m$  para el promediado de posiciones de fuente 2, 3 y 4 (ya que es el mínimo establecido para éste parámetro). Siguiendo las indicaciones de la norma no se promedian las posiciones de micrófono por lo que se evalúa la diferencia en cada cuadrante.

Cuadrante	Valor mínimo	Valor máximo	JND	Diferencia en JND
1	1,49	1,99	0,07	6,5
2	1,53	1,98	0,08	5,9
3	1,60	2,07	0,08	6,2
4	1,58	2,10	0,08	6,8
5	1,51	1,84	0,08	4,3
6	1,48	1,83	0,07	4,5
7	1,47	1,76	0,07	3,9

Tabla 4.2 Valores de  $EDT_m$  (en segundos) por cuadrantes y diferencia entre ellos para promedio fuentes 2-3-4.

Se aprecia que en la platea (cuadrantes 1 a 4) es donde hay mayor diferencia, llegando en el cuadrante 4 a los 6,8 JND. En los cuadrantes correspondientes a los palcos la diferencia es menor (ya que contienen menos butacas) y se sitúa en torno a los 4 JND.

DEFINICIÓN (D50)

Al igual que en el caso del EDT, se muestra en la Tabla 4.3 los valores mínimo y máximo de  $D50_m$  para cada cuadrante en tanto por ciento y la diferencia en JND entre ellos.

Cuadrante	Valor mínimo	Valor máximo	JND	Diferencia en JND
1	33	56	5	4,6
2	33	55	5	4,4
3	26	44	5	3,6
4	28	44	5	3,2
5	26	42	5	3,2
6	28	44	5	3,2
7	26	42	5	3,2

Tabla 4.3 Valores de  $D50_m$  (en %) por cuadrantes y diferencia entre ellos para promedio fuentes 2-3-4.

La diferencia entre los diferentes valores supera para todos los cuadrantes los 3 JND, superando los 4 JND en los cuadrantes 1 y 2.

CLARIDAD MUSICAL (C80)

La Tabla 4.4 muestra los valores de claridad musical media  $C80_m$  máximos y mínimos para cada cuadrante.

Cuadrante	Valor mínimo	Valor máximo	JND	Diferencia en JND
1	-0,53	3,08	1,00	3,6
2	-0,38	2,55	1,00	2,9
3	-1,58	1,43	1,00	3,0
4	-0,90	1,83	1,00	2,7
5	-0,88	1,88	1,00	2,8
6	-0,40	2,88	1,00	3,3
7	-0,18	2,65	1,00	2,8

Tabla 4.4 Valores de  $C80_m$  (en dB) por cuadrantes y diferencia entre ellos para promedio fuentes 2-3-4.

Para este caso todos los valores de la diferencia son próximos a 3 JND.

Los resultados indican que entre los informes conforme a ISO más extremos hay diferencias perceptibles por el oído humano para todos los parámetros.

## GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE INFORMES NORMALIZADOS

En este apartado vamos a explicar las herramientas que hemos utilizado para generar informes automáticamente conforme la norma ISO 3382-1 utilizando datos de posiciones de micrófono aleatorias.

Se analizarán también los resultados obtenidos para conocer la probabilidad de que un informe realizado aleatoriamente esté comprendido entre la media  $\pm 0,5$  JND. Todo ello requiere un enfoque estadístico.

El objetivo de este apartado es la generación de una cantidad muy grande de datos normalizados para poder analizarlos entre ellos. Debido a las diferencias de expresión de los resultados entre tiempo de reverberación y los demás parámetros, las técnicas serán distintas.

### TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Se han creado 2 herramientas diferentes, pero que se basan en lo mismo: la primera es un conjunto de archivos Excel dentro de la carpeta "*Análisis por cuadrantes - minmax - Zaleatorios*" en los cuales, en la hoja denominada "aleatorios" selecciona aleatoriamente una butaca de cada cuadrante y calcula el promedio aritmético. Previamente se selecciona el parámetro y la frecuencia. Hay un archivo Excel para todas las posibilidades de posición de fuente.

El archivo está diseñado para comparar la diferencia en JND de 2 elecciones aleatorias (cada una de 7 posiciones de micrófono -1 por cuadrante-).

En cualquier caso, dicha herramienta no es la adecuada para generar una gran cantidad de informes basados en posiciones aleatorias. Para ello se ha desarrollado nuevamente en matlab un script para la generación de datos conforme a ISO, basándose en la elección aleatoria de 7 posiciones de micrófono. El resultado será la media aritmética (en cada frecuencia) de los datos. Se explica de manera gráfica en la Figura 4.33.

El ciclo se repetirá tantas veces como datos diferentes normalizados se quieran. Hay que tener en cuenta que lo que se está haciendo es tratar de reproducir un número n de veces una medida normalizada para caracterizar el auditorio.

Como se explica en la introducción de este apartado, hay casi 100.000 millones de posibilidades de caracterizar el auditorio (todas ellas normalizadas). Se barajó la idea de hacer el cálculo de todas ellas, pero teniendo en cuenta que 1.000.000 de combinaciones cuestan unas 3 horas, el cálculo total llevaría más de 34 años. Se podría mejorar la programación para hacerla más eficiente, pero nunca se llegaría a un tiempo viable.

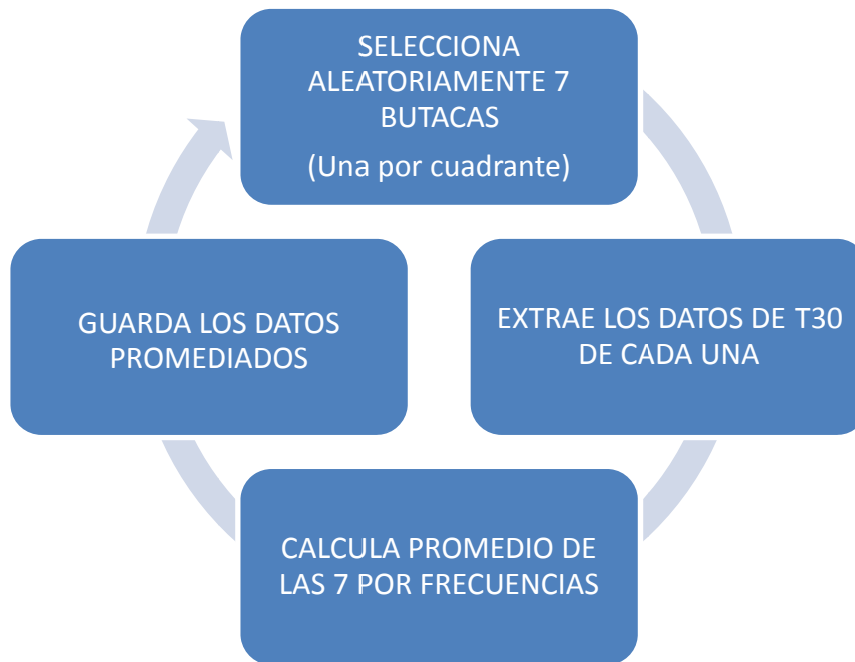


Figura 4.33 Diagrama de flujo del script de matlab

Al número de combinaciones calculadas lo denominamos  $n$ . Así  $n=10$  se referirá a 10 informes ISO normalizados.

Para el análisis, se generan diversas colecciones de datos con diferentes  $n$ :  $n=10$ ,  $n=100$ ,  $n=2000$ ,  $n=10000$ ,  $n=100000$ ,  $n=300000$ ,  $n=12000000$ ;

Se estudia la normalidad de éstas: para ninguna frecuencia el conjunto de los datos de las muestras se distribuye de manera normal.

Para valores de  $T30_{mid}$  (en posiciones de fuente promedio 2, 3 y 4) se observa que tomando  $n=100000$ , los valores oscilan entre 1,91, 1,92 y 1,93 segundos. Sabiendo que la media (ver apartado 4.1) es de 1,92 y que su JND es 0,1, ninguna combinación de las 100000 calculadas difiere en más de 1 JND de la media.

#### ESTADÍSTICA DE LOS DATOS

Se pretende analizar la función de distribución de las muestras. En la Figura 4.34 se representa el histograma de frecuencias de  $T30_{mid}$  para un millón de muestras aleatorias (compuesta por la media en 500 y 1000 Hz de 7 posiciones de micrófono) en las posiciones de fuente 2, 3 y 4.

Se aprecia su forma acampanada, característica de una curva normal. Las pruebas de normalidad realizadas en SPSS y en matlab (ver programas anexos) lo demuestran. Para el mismo parámetro, las posiciones de fuente 2-4 junto con 3-4 también resultan normales. En cambio la combinación de 2-3 no es una distribución normal.

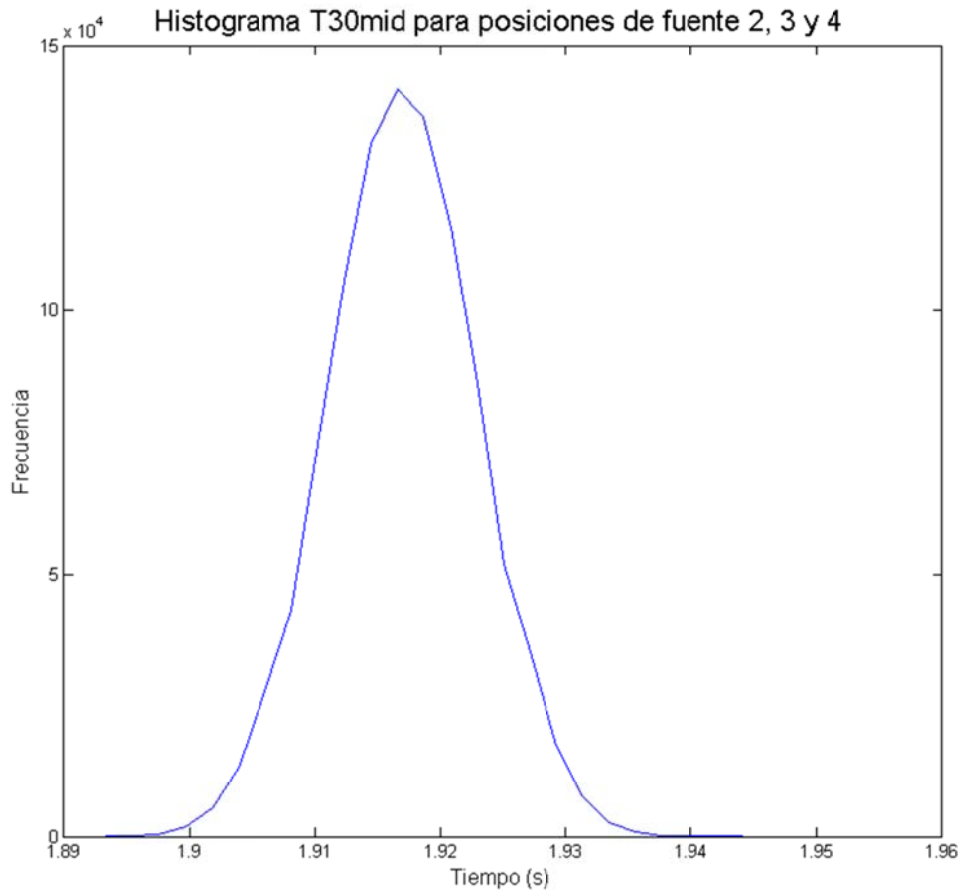


Figura 4.34 Histograma del T30mid con resultados de un millón de muestras

Habiendo calculado los histogramas de T30mid para combinaciones de fuente 2-3, 2-4, 3-4 y 2-3-4, se analizan los datos para averiguar cuántas muestras dan por resultado un T30mid no comprendido entre la media<sup>2</sup>  $\pm$  0,5 JND.

Los resultados lo podemos ver en las tablas 4.5, 4.6, 4.7 4.8 y 4.9, en las cuales se han establecido 3 clases (media – 0.5 JND, media y media +0.5 JND).

<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1,87327841	0	0,00%
1,92131119	7080	70,81%
1,96934397	2919	100,00%
y mayor...	0	100,00%

Tabla 4.5 Nº de observaciones de T30mid en posiciones 2,3 y 4 (10000 muestras)

<sup>2</sup> Establecemos que la media “real” de T30mid es la media de las 375 butacas para las 3 posiciones de fuente



<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1,87327841	0	0,00%
1,92131119	6265	62,66%
1,96934397	3734	100,00%
y mayor...	0	100,00%

Tabla 4.6 Nº de observaciones de T30mid en posiciones 2 y 3 (10000 muestras)

<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1,87327841	0	0,00%
1,92131119	5628	56,29%
1,96934397	4371	100,00%
y mayor...	0	100,00%

Tabla 4.7 Nº de observaciones de T30mid en posiciones 2 y 4 (10000 muestras)

<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1,87327841	0	0,00%
1,92131119	8200	82,01%
1,96934397	1799	100,00%
y mayor...	0	100,00%

Tabla 4.8 Nº de observaciones de T30mid en posiciones 3 y 4 (10000 muestras)

<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1,87327841	0	0,00%
1,92131119	710339	71,03%
1,96934397	289660	100,00%
y mayor...	0	100,00%

Tabla 4.9 Nº de observaciones de T30mid en posiciones 2, 3 y 4 (1000000 muestras)

Los resultados indican que para todos los casos la totalidad de las muestras ofrece un valor T30mid dentro del rango  $media \pm 0,5 JND$ .

## HOMOGENEIDAD DE LAS FUENTES

Como se ha comentado en otros apartados de esta Memoria, la selección de los puntos de medida que permitan caracterizar el comportamiento acústico de un recinto evaluado mediante un determinado parámetro, i.e. tiempo de reverberación (y respetando las restricciones impuestas por la norma ISO 3382) tiene una componente puramente probabilística. Podemos elegir diferentes muestras. En nuestro caso, una práctica infinidad de muestras. Estudiaremos en este apartado si las diferencias halladas en los resultados de una u otra muestra pueden ser atribuidas al azar o si, por el contrario, es excesiva para que el azar lo explique. Las pruebas que estudian si es significativa la diferencia entre muestras constituyen el importante capítulo de la estadística Analítica denominado *Homogeneidad*.

Trataremos de estudiar si las muestras seleccionadas son homogéneas o no homogéneas. Equivalentemente, podríamos hablar de si proceden de la misma población o de poblaciones diferentes, de si tienen idéntico o diferente comportamiento, si sus diferencias no son significativas o si, por el contrario, sí lo son. En definitiva si las diferencias son explicadas por el azar o son excesivas para ser atribuidas al mismo. El objetivo fundamental del análisis será comprobar si los resultados obtenidos para distintas posiciones de fuentes (o combinaciones de ambas) muestran diferencias significativas o no. Si la respuesta es afirmativa, la selección de posiciones de fuente debiera ser más estrictamente definida en la norma citada.

Comenzaremos analizando la homogeneidad de los resultados medios y la homogeneidad de las dispersiones o desviaciones típicas que presentan las muestras ante la variable 'posición de fuente'. Supongamos, por ejemplo, las posiciones 2 y 3 de fuente seleccionadas en nuestras medidas. Disponemos de los valores  $(n_2, m_2, \sigma_2)$  y  $(n_3, m_3, \sigma_3)$ , es decir, número de puntos de medida, media y desviación típica de los resultados de ambas medidas. Para estudiar la homogeneidad de las dos medias será preciso comprobar si su diferencia  $d=m_1-m_2$  supera o no la atribuida al azar. Supondremos, de entrada, la *hipótesis nula*, es decir, que la diferencia  $d$  no excede al azar. La distribución de las diferencias (centradas, lógicamente, en 0) seguiría una campana de Gauss centrada en 0 y con puntos de inflexión que definen su dispersión y, por tanto, el error estándar, llamado ahora *error estándar de la diferencia de medias*,  $s_d$ . Colocando dos veces a cada lado de la media (de valor 0, por la hipótesis nula) el valor de este error estándar tendremos los márgenes de variación de  $d$  en 95 de cada 100 ocasiones. Similarmente, colocándolo 2,6 veces a cada lado, obtendríamos los márgenes de variación de  $d$  en 99 de cada 100 ocasiones. En definitiva, si la hipótesis nula fuera cierta, la diferencia entre las dos medias no saldría de estos intervalos de confianza más que en 5 o 1 ocasiones, respectivamente. El problema se reduce, por tanto, a comprobar si la verdadera diferencia hallada  $(m_1-m_2)$  excede o no de estos intervalos.

El error estándar se evalúa mediante la expresión:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sigma_2^2}{n_2} + \frac{\sigma_3^2}{n_3}} \quad (1)$$

Para muestras pequeñas es preciso acudir a la distribución *t* de Student, en substitución de los coeficientes 2 y 2,6. Conviene también utilizar una desviación típica ‘ponderada’:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{n_2\sigma_2^2 + n_3\sigma_3^2}{n_2 + n_3 - 2}} \quad (2)$$

Y el nuevo error estándar de la diferencia de medias en muestras pequeñas será:

$$s_d = \sigma_d \sqrt{\frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_3}} \quad (3)$$

Este error estándar deberá multiplicarse (para hallar el intervalo de confianza) por los valores *t* obtenidos de la tabla de Student, pero entrando en ella con la suma de grados de libertad de cada muestra, es decir,  $n_2+n_3-2$ . Igual que en el caso de muestras grandes, si  $d > t \cdot s_d$ , la diferencia será estadísticamente significativa. Si  $n_2+n_3-2 > 30$ , los valores de Student prácticamente coinciden con el 2 y 2,6 de la curva de Gauss.

Supongamos que queremos analizar si la caracterización acústica del local, evaluada a través de un determinado parámetro (por ejemplo, TR) es dependiente de la elección de la posición de fuente. Es decir, intentamos contestar a la pregunta ¿Influye la elección de la posición de fuente en la caracterización acústica del local, caracterizada por el parámetro TR?. Para ello, y siguiendo el procedimiento ISO 3382, seleccionamos 7 puntos arbitrarios, uno por cuadrante. Tomaremos 10 selecciones aleatorias para la posición de fuente 2; es decir, 10 es el tamaño de la primera muestra. Haremos lo mismo con la posición de fuente 3. La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para estas muestras aleatorias.

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Media Pos 2	1,58	1,56	1,79	1,80	2,05	2,38	2,54	1,95	1,49	1,92
St. Dev. Pos 2	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Media Pos 3	1,58	1,53	1,76	1,79	2,04	2,37	2,51	1,91	1,54	1,91
St. Dev. Pos 3	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

Tabla 4.10. Resultados de TR para 10 muestras aleatorias de las posiciones de fuente 2 y 3.

Queremos ver si la diferencia (por ejemplo,  $1,92 - 1,91 = 0,01$  s para el TR<sub>mid</sub>) es o no estadísticamente significativa. Comenzamos calculando la desviación típica ponderada (ecuación 2) con  $n_2=n_3=10$  y las correspondientes desviaciones estándar de las posiciones (0,01 en ambos casos). Obtenemos el valor  $\sigma_d = 0,0099583$ . El correspondiente valor para  $s_d$  (ecuación 3) es de 0,0044535. El valor de *t* de Student para 18 grados de libertad

( $10+10-2$ ) y  $p < 0,05$  es de  $2,10$ . Multiplicando  $2,10$  por  $0,0044535$  (valor de  $s_d$ ) obtenemos  $0,0093524$ , máximo juego que el azar permite para una seguridad del 95%. Como la diferencia real hallada ( $0,01$  s) supera el valor de la permitida por el azar ( $0,0093524$ ) la diferencia obtenida es estadísticamente significativa. De otra forma, las muestras no son homogéneas, o bien tienen un comportamiento diferente, o bien provienen de poblaciones distintas. La tabla 11 resume el proceso para todas las frecuencias.

Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. P2	1,58	1,56	1,79	1,80	2,05	2,38	2,54	1,95	1,49	1,92
St. D..P2	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. P3	1,58	1,53	1,76	1,79	2,04	2,37	2,51	1,91	1,54	1,91
St. D. P3	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0808	0,0301	0,0224	0,0138	0,0097	0,0068	0,0075	0,0105	0,0181	0,0099
$S_d$	0,0361	0,0134	0,0100	0,0061	0,0043	0,0030	0,0033	0,0047	0,0080	0,0044
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0758	0,0283	0,0210	0,0130	0,0092	0,0063	0,0071	0,0099	0,0170	0,0093
Homog.	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 4.11. Proceso para la determinación de la homogeneidad (posiciones de fuente 2 y 3. n=10)

Repetiendo el proceso para las combinaciones de posiciones de fuentes 2-4 y 3-4, los resultados se muestran en las Tablas 12 y 13.

Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. P2	1,58	1,56	1,79	1,80	2,05	2,38	2,54	1,95	1,49	1,92
St. D..P2	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. P4	1,62	1,55	1,78	1,80	2,04	2,38	2,53	1,95	1,54	1,92
St. D. P4	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0737	0,0282	0,0241	0,0127	0,0112	0,0071	0,0076	0,0110	0,0188	0,0104
$S_d$	0,0329	0,0126	0,0108	0,0056	0,0050	0,0031	0,0034	0,0049	0,0084	0,0046
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0692	0,0265	0,0227	0,0119	0,0105	0,0067	0,0071	0,0103	0,0176	0,0098
Homog.	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI

Tabla 4.12. Proceso para la determinación de la homogeneidad (posiciones de fuente 2 y 4. n=10)

Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. P3	1,58	1,53	1,76	1,79	2,04	2,37	2,51	1,91	1,54	1,91
St. D..P3	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. P4	1,62	1,55	1,78	1,80	2,04	2,38	2,53	1,95	1,54	1,92
St. D. P4	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0793	0,0295	0,0183	0,0129	0,0117	0,0058	0,0065	0,0066	0,0202	0,0108
$S_d$	0,0355	0,0131	0,0082	0,0057	0,0052	0,0026	0,0029	0,0029	0,0090	0,0048
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0745	0,0277	0,0172	0,0121	0,0110	0,0055	0,0061	0,0062	0,0190	0,0101
Homog.	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI

Tabla 4.13. Proceso para la determinación de la homogeneidad (posiciones de fuente 3 y 4. n=10)

Analizado el procedimiento estadístico, pasaremos a mostrar los resultados similares si bien realizando promedio para dos posiciones de fuente, que es lo que (estrictamente) establece la norma ISO 3382. Para ello tomaremos los resultados de elecciones aleatorias de 7 puntos (uno por cuadrante) pero con dos posiciones de fuente y realizando la media de los resultados obtenidos con cada fuente. Consideraremos las situaciones de 10, 100, 2.000 y 10.000 elecciones aleatorias, proceso que se ha desarrollado con MatLAB. Puesto que el procedimiento es similar, explicamos con detalle el primero.

En primer lugar, realizamos una selección aleatoria de 7 puntos de medida. Calculamos la media de los resultados obtenidos en dichos puntos con dos posiciones de fuente, por ejemplo, posiciones 2 y 3 de fuentes. Repetimos el proceso 10 veces (tamaño de la muestra igual a 10). Esto nos dará un valor promedio global (para cada frecuencia) del tiempo de reverberación del local. Idéntico proceso realizamos pero para las posiciones de fuente 2 y 4 (tamaño de la muestra igual, también, a 10). Se tratará entonces de comprobar si las muestras son o no homogéneas. El proceso se repetirá posteriormente para 100, 2.000 y 10.000 muestras. Las tablas 14, 15, 16 y 17 muestran los resultados para tres pares de posiciones de fuentes.

Posiciones 2-3 versus Posiciones 2-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,59	1,54	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,50	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Med. 2-4	1,59	1,56	1,79	1,79	2,05	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D. 2-4	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0641	0,0221	0,0110	0,0083	0,0069	0,0046	0,0055	0,0041	0,0161	0,0060
$S_d$	0,0287	0,0099	0,0049	0,0037	0,0031	0,0020	0,0025	0,0018	0,0072	0,0027
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0602	0,0207	0,0103	0,0078	0,0065	0,0043	0,0052	0,0039	0,0151	0,0056
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0825	0,0285	0,0142	0,0107	0,0089	0,0059	0,0071	0,0053	0,0207	0,0077
$p < 0,05$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
$p < 0,01$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Posiciones 2-3 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,59	1,54	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,50	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Med. 2-4	1,58	1,56	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,94	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0648	0,0196	0,0170	0,0101	0,0078	0,0042	0,0064	0,0068	0,0177	0,0066
$S_d$	0,0290	0,0088	0,0076	0,0045	0,0035	0,0019	0,0029	0,0030	0,0079	0,0030
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0609	0,0184	0,0160	0,0095	0,0073	0,0040	0,0060	0,0064	0,0166	0,0062
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0835	0,0253	0,0219	0,0130	0,0100	0,0054	0,0082	0,0088	0,0227	0,0085
$p < 0,05$	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI

p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Posiciones 2-4 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,59	1,56	1,79	1,79	2,05	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D.2-3	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
Med. 2-4	1,58	1,56	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,94	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0728	0,0179	0,0162	0,0102	0,0069	0,0047	0,0063	0,0067	0,0198	0,0068
S <sub>d</sub>	0,0326	0,0080	0,0072	0,0046	0,0031	0,0021	0,0028	0,0030	0,0089	0,0030
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0684	0,0168	0,0152	0,0096	0,0065	0,0044	0,0059	0,0063	0,0186	0,0064
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0938	0,0231	0,0208	0,0131	0,0089	0,0061	0,0081	0,0086	0,0255	0,0087
p<0,05	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI

Tabla 4.14. Análisis de homogeneidad para pares de posiciones de fuente (n=10)

Posiciones 2-3 versus Posiciones 2-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,57	1,55	1,78	1,80	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,59	1,56	1,79	1,79	2,05	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D. 2-4	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0634	0,0193	0,0123	0,0094	0,0068	0,0052	0,0054	0,0053	0,0177	0,0064
S <sub>d</sub>	0,0284	0,0086	0,0055	0,0042	0,0030	0,0023	0,0024	0,0024	0,0079	0,0029
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0596	0,0181	0,0115	0,0088	0,0064	0,0049	0,0051	0,0050	0,0167	0,0060
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0817	0,0248	0,0158	0,0120	0,0088	0,0067	0,0070	0,0069	0,0229	0,0083
p<0,05	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Posiciones 2-3 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,57	1,55	1,78	1,80	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0519	0,0188	0,0142	0,0108	0,0083	0,0054	0,0056	0,0065	0,0170	0,0071
S <sub>d</sub>	0,0232	0,0084	0,0063	0,0048	0,0037	0,0024	0,0025	0,0029	0,0076	0,0032
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0488	0,0176	0,0133	0,0102	0,0078	0,0050	0,0053	0,0061	0,0160	0,0067
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0669	0,0242	0,0182	0,0139	0,0107	0,0069	0,0072	0,0084	0,0219	0,0092

p<0,05	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Posiciones 2-4 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,58	1,56	1,78	1,80	2,04	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D.2-3	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0553	0,0185	0,0140	0,0117	0,0083	0,0051	0,0061	0,0064	0,0163	0,0076
S <sub>d</sub>	0,0247	0,0083	0,0063	0,0052	0,0037	0,0023	0,0027	0,0028	0,0073	0,0034
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0519	0,0174	0,0132	0,0110	0,0078	0,0048	0,0057	0,0060	0,0153	0,0072
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0712	0,0238	0,0181	0,0151	0,0107	0,0065	0,0078	0,0082	0,0210	0,0098
p<0,05	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI

Tabla 4.15. Análisis de homogeneidad para pares de posiciones de fuente (n=100)

Posiciones 2-3 versus Posiciones 2-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,58	1,55	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,59	1,56	1,78	1,80	2,04	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0557	0,0181	0,0143	0,0107	0,0081	0,0055	0,0055	0,0063	0,0174	0,0075
S <sub>d</sub>	0,0249	0,0081	0,0064	0,0048	0,0036	0,0025	0,0025	0,0028	0,0078	0,0033
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0523	0,0170	0,0135	0,0101	0,0076	0,0052	0,0052	0,0059	0,0164	0,0070
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0717	0,0233	0,0185	0,0138	0,0105	0,0071	0,0071	0,0081	0,0225	0,0096
p<0,05	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Posiciones 2-3 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,58	1,55	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,92
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0531	0,0186	0,0147	0,0106	0,0081	0,0056	0,0055	0,0060	0,0175	0,0072
S <sub>d</sub>	0,0237	0,0083	0,0066	0,0047	0,0036	0,0025	0,0024	0,0027	0,0078	0,0032
t×S <sub>d</sub> (p<0,05)	0,0498	0,0175	0,0138	0,0099	0,0076	0,0053	0,0051	0,0057	0,0164	0,0068
t×S <sub>d</sub> (p<0,01)	0,0683	0,0240	0,0190	0,0136	0,0105	0,0072	0,0070	0,0078	0,0225	0,0093
p<0,05	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
p<0,01	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Posiciones 2-4 versus Posiciones 3-4										

Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,59	1,56	1,78	1,80	2,04	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,92
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0550	0,0183	0,0141	0,0111	0,0079	0,0057	0,0056	0,0062	0,0173	0,0074
$S_d$	0,0246	0,0082	0,0063	0,0050	0,0035	0,0025	0,0025	0,0028	0,0077	0,0033
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0517	0,0172	0,0133	0,0105	0,0074	0,0053	0,0052	0,0058	0,0162	0,0069
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0709	0,0236	0,0182	0,0143	0,0102	0,0073	0,0072	0,0080	0,0222	0,0095
$p < 0,05$	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
$p < 0,01$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI

Tabla 4.16. Análisis de homogeneidad para pares de posiciones de fuente (n=2.000)

Posiciones 2-3 versus Posiciones 2-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,58	1,55	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,59	1,56	1,78	1,80	2,04	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0551	0,0183	0,0144	0,0107	0,0081	0,0056	0,0057	0,0063	0,0175	0,0074
$S_d$	0,0246	0,0082	0,0064	0,0048	0,0036	0,0025	0,0025	0,0028	0,0078	0,0033
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0517	0,0172	0,0135	0,0100	0,0076	0,0052	0,0053	0,0059	0,0165	0,0069
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0709	0,0236	0,0186	0,0137	0,0104	0,0072	0,0073	0,0081	0,0226	0,0095
$p < 0,05$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
$p < 0,01$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Posiciones 2-3 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,58	1,55	1,78	1,79	2,04	2,38	2,53	1,93	1,51	1,92
St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0530	0,0189	0,0145	0,0106	0,0082	0,0057	0,0055	0,0060	0,0178	0,0072
$S_d$	0,0237	0,0084	0,0065	0,0047	0,0037	0,0025	0,0025	0,0027	0,0080	0,0032
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0497	0,0177	0,0136	0,0100	0,0077	0,0053	0,0051	0,0057	0,0168	0,0068
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0682	0,0243	0,0187	0,0137	0,0106	0,0073	0,0071	0,0078	0,0230	0,0093
$p < 0,05$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
$p < 0,01$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Posiciones 2-4 versus Posiciones 3-4										
Frec.(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	TR <sub>mid</sub>
Med. 2-3	1,59	1,56	1,78	1,80	2,04	2,38	2,54	1,95	1,51	1,92



St.D.2-3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Med. 2-4	1,60	1,55	1,77	1,79	2,04	2,37	2,52	1,93	1,53	1,91
St.D. 2-4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
$\sigma_d$	0,0548	0,0184	0,0142	0,0111	0,0078	0,0057	0,0057	0,0063	0,0173	0,0073
$S_d$	0,0245	0,0082	0,0064	0,0049	0,0035	0,0025	0,0025	0,0028	0,0077	0,0033
$t \times S_d$ ( $p < 0,05$ )	0,0514	0,0172	0,0133	0,0104	0,0073	0,0053	0,0053	0,0059	0,0162	0,0068
$t \times S_d$ ( $p < 0,01$ )	0,0705	0,0237	0,0183	0,0143	0,0100	0,0073	0,0073	0,0081	0,0222	0,0094
$p < 0,05$	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
$p < 0,01$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI

Tabla 4.17. Análisis de homogeneidad para pares de posiciones de fuente (n=10.000)

Los comentarios que sugieren los resultados obtenidos son los siguientes. En primer lugar, la caracterización del local evaluada por el parámetro TRmid (media de los tiempos de reverberación en 500 y 1.000 Hz) como media de 7 posiciones aleatorias medidas con dos posiciones de fuente resulta un valor suficientemente estable y fiable. En todos los casos, la estadística pone de manifiesto que las muestras resultan homogéneas ( $p < 0,01$ ) con resultados cuyas diferencias no son en absoluto estadísticamente significativas. En ningún caso, la media resultante difiere en más de 0,01 s, valor que entra dentro de la precisión experimental y, en todo caso, muy inferior al valor del jnd de dicho parámetro, 0,1 s para un valor del TRmid de 1,92 s.

Para alguna frecuencias (principalmente, 4, 8 y 16 kHz) las diferencias sí que resultan, en algunos casos, significativas. Desde la óptica de la estadística, ello implica que las muestras no son homogéneas y que las poblaciones originales (pares de fuentes) difieren en sus medias en una forma estadísticamente significativa. No obstante, para todas las situaciones en que la prueba ofrece resultado negativo para la homogeneidad (ver tablas 14 a 17) la diferencia entre las medias no supera nunca el valor de 0,03 s que, si bien resulta estadísticamente significativa (dado el tamaño muestral) sigue siendo muy inferior al valor del jnd del parámetro. En definitiva, la caracterización del local mediante la medida del tiempo de reverberación en una determinada banda de frecuencia resulta perfectamente fiable, independientemente del par de posiciones de fuente que se seleccionen.

#### PRUEBA DE WILCOXON

Otra de las pruebas estadísticas más utilizadas para la comparación de muestras pareadas es el test de Wilcoxon el cual trata de contrastar la hipótesis nula de que la distribución de la diferencia está centrada en cero, es decir, que la mediana es igual a cero.

Se ha realizado el test para 375 muestras, comparando las diferentes combinaciones de fuentes. El resultado proporcionado por SPSS se muestra en la tabla 4.18. Se ha realizado

también con matlab, obteniendo el mismo resultado analítico: las combinaciones de fuentes 2-3 y 2-4 sí son homogéneas, en cambio 2-3 y 3-4 por un lado y 2-4 y 3-4 por otro, no lo son.

Se ha realizado también una hoja Excel (wilcoxon.xlsx) en la que se ha elaborado paso por paso el algoritmo para las fuentes 2-3 y 2-4 y el parámetro T30mid, obteniendo el mismo resultado analítico que SPSS y matlab.

**Estadísticos de contraste<sup>c</sup>**

	p2y4 - p2y3	p3y4 - p2y3	p3y4 - p2y4
Z	-,726 <sup>a</sup>	-3,917 <sup>b</sup>	-4,919 <sup>b</sup>
Sig. asintót. (bilateral)	,468	,000	,000

a. Basado en los rangos negativos.

b. Basado en los rangos positivos.

c. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

Tabla 4.18 Resultado Test de Wilcoxon en SPSS para T30mid

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas del análisis de los datos y referidas únicamente al ámbito del auditorio estudiado son las siguientes:

- Los resultados de  $T30_{mid}$  como valor único para caracterizar el auditorio son, perceptiblemente, los mismos sean cuales sean las posiciones de fuente utilizadas (con un mínimo de 2).

Aunque estadísticamente las pruebas puedan indicar diferencias (Wilcoxon), éstas son inapreciables ya que ninguna llega ni siquiera al 0,5 JND. Las pruebas realizadas con el test de t de Student (utilizadas para evaluar muestras con distribución normal) verifican la homogeneidad de éste parámetro.

- Si la norma ISO hubiese establecido un mínimo de 2 posiciones de fuente (tal como en el apartado 4.3 lo admite para TR) para caracterizar EDT y C80 (en lugar de 3), los resultados variarían de esta forma:
  - o Posición de fuente elegida: 2-3. El 3% de butacas (para  $EDT_m$ ) y el 2% (para  $C80_m$ ) superarían 1 JND de diferencia.
  - o Posición de fuente elegida: 2-4. El 3% de butacas (para  $EDT_m$ ) y el 0% (para  $C80_m$ ) superarían 1 JND de diferencia.
  - o Posición de fuente elegida: 3-4. El 8% de butacas (para  $EDT_m$ ) y el 4% (para  $C80_m$ ) superarían 1 JND de diferencia.
- Las máximas diferencias obtenidas en la evaluación acústica (normalizadas según ISO) superan el valor de 1 JND para todos los parámetros:
  - o  $T30_{mid}$  valor único: tanto para 2 como para 3 posiciones de fuente, los resultados más distantes se diferencian en 1,1 JND
  - o  $EDT_m$ : La variación para los 2 casos más distantes va desde 4 a 7 JND (dependiendo de la zona)
  - o  $D50_m$ : La variación para los 2 casos más distantes va desde 3 a 5 JND (dependiendo de la zona)
  - o  $C80_m$ : La variación para los 2 casos más distantes es de aproximadamente 3 JND; más o menos dependiendo de la zona.
- Para  $T30_{mid}$  NINGUNA muestra del millón generadas aleatoriamente se sale del rango media  $\pm 0,5$  JND.
- Para otros parámetros (EDT, C80), si se promedian espacialmente (no recomendado por ISO 3382-1), se pueden apreciar muestras fuera del rango  $\pm 1$  JND.

## 6. LÍNEAS FUTURAS DONDE PROFUNDIZAR

Después de concluir el análisis de este proyecto, se considera que se puede seguir profundizando en algunos detalles del mismo.

- Medición de eficiencia lateral y parámetros binaurales para 3 posiciones de fuente. Análisis conforme a ISO 3382-1.
- Análisis por frecuencias para todos los parámetros.
- Test estadístico para comprobar homogeneidad en diferencias entre 3 posiciones de fuente y 2 para EDT, C80, D50, y demás parámetros incluidos en el anexo de la ISO.

## 7. REFERENCIAS

- [1] ISO 3382-1:2009 “Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos.” International Organization for Standardization (ISO), 2009.
- [2] San Martín, R. “Precisión en la medida de parámetros derivados de la respuesta al impulso en acústica de salas.”
- [3] Oppenheim A.V., Willsky A.S., Hamid S., “Signals and Systems”, 2nd ed., Prentice Hall, 1997.
- [4] WinMLS 2004 Reference Documentation.
- [5] Beranek, L. “Concert Halls and Opera Houses: How they sound.”
- [6] Barron M., “Auditorium acoustics and architectural design”, *Taylor & Francis*, 1993.
- [7] Potter, J.M., Raatgever, J., Bilsen, F.A. “Measures for spaciousness in room acoustics based on a binaural strategy”. *Acta Acustica* 3, 429-442 (1995)

**8. ANEXO 1. HOJAS DE ESPECIFICACIONES**

**MICRÓFONO AUDIOTECHNICA**

**AT4050** MICRÓFONO DE CONDENSADOR MULTIPATRÓN

**(4<sup>o</sup>)** SERIES



- Sus agudos y medios transparentes, balanceados con sus ricas cualidades en el extremo grave se combinan con la avanzada ingeniería acústica para lograr extensas capacidades de funcionalidad y calidad suprema
- Su diseño de cápsula de membrana dual mantiene una definición precisa del patrón cardioide a lo largo de todo el rango de frecuencias del micrófono
- Los circuitos sin transformadores, virtualmente eliminan la distorsión en las frecuencias graves y proveen una correlación superior entre las transientes de alta velocidad
- El entorno acústico abierto del ensamble de la cubierta simétrica minimiza las reflexiones internas indeseables
- Los circuitos con montaje de superficie de alta tecnología aseguran el cumplimiento de los estrictos estándares de consistencia y confiabilidad de Audio-Technica

El AT4050 fue diseñado para usarse en aplicaciones profesionales donde haya disponibilidad de fuente remota. Requiere fuente phantom de 48V DC, que suministra una mezcladora o consola, o por una fuente separada, en línea, tal como las fuentes de alimentación AT8801, de un solo canal, y el CP8506, de fuente phantom de cuatro canales.

La salida, a través del conector tipo XLRM del micrófono, es de baja impedancia (Lo-Z) balanceada. La señal corre por los pines 2 y 3. El pin 1 es la tierra (neutro). La fase de salida es el pin 2 "hot" - la presión acústica positiva produce voltaje positivo en el pin 2.

Para prevenir cancelaciones de fase y sonido débil, todos los cables de micrófono deben coincidir en su conexión: "Pin 1" con el "Pin 1", etc.

Un filtro de pasa de altas de 80 Hz permite que uno seleccione fácilmente entre una respuesta de frecuencias plana y una atenuación gradual del extremo grave ("roll-off"). La posición pasa altos reduce la sensibilidad del micrófono a los "pops" de consonantes oclusivas cuando se microfonea la voz muy de cerca. También reduce el registro de ruido ambiental de frecuencias graves tal como el tráfico, los sistemas de aire acondicionado, la reverberación del salón y las vibraciones transmitidas mecánicamente.

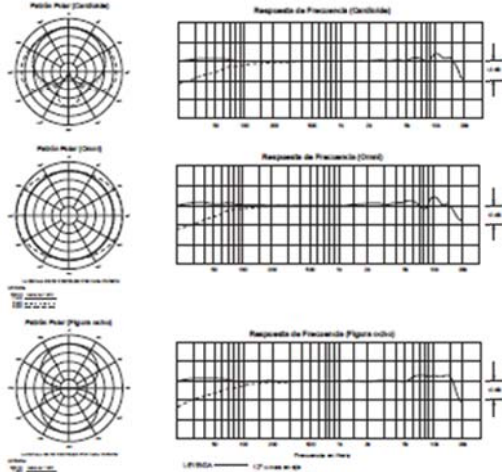
Al usarlo: fije el cable al pedestal del micrófono o al boom, formando un rizo de soldura en el mismo. Esto asegurará el aislamiento más efectivo de los choques y reducirá la posibilidad de sacar al micrófono de su montura por algún jalón accidental.

Evite dejar el micrófono bajo el sol directo o en áreas donde la temperatura exceda los 43° C (110° F) por largos periodos. Debe evitarse también una humedad extrema.

**ESPECIFICACIONES DE AT4050\***

<b>ELEMENTO</b>	Condensador externamente polarizado (polarización de DC)
<b>PATRÓN POLAR</b>	Cardioide, Omnidireccional, Figura ocho
<b>RESPUESTA DE FRECUENCIA</b>	20-18,000 Hz
<b>SELECTOR DE FRECUENCIAS GRAVES</b>	80 Hz, 12 dB/octava
<b>SENSIBILIDAD DEL CIRCUITO ABIERTO</b>	-38 dB (15,8 mV) re 1V a 1 Pa*
<b>IMPEDANCIA</b>	100 ohms
<b>NIVEL MÁXIMO DE SONIDO EN LA ENTRADA</b>	149 dB SPL, a 1 kHz a 1% T.H.D.; 159 dB SPL, con atenuador de 10 dB (nominal)
<b>RUIDO*</b>	17 dB SPL
<b>RANGO DINÁMICO (típico)</b>	132 dB, 1 kHz al max SPL
<b>RELACIÓN SEÑAL-RUIDO*</b>	77 dB, 1 kHz a 1 Pa*
<b>REQUERIMIENTOS DE LA FUENTE PHANTOM</b>	48V DC, 4,2 mA típico
<b>INTERRUPTORES</b>	Selección de patrón; plana, atenuación gradual de graves, atenuador de 10 dB (nominal)
<b>PESO (sin accesorios)</b>	510 g (18,0 oz)
<b>DIMENSIONES</b>	188,0 mm (7,40") de largo, 53,4 mm (2,10") de diámetro máximo del cuerpo
<b>CONECTOR DE SALIDA</b>	Integral de 3 pines tipo XLRM
<b>ACCESORIOS INCLUIDOS</b>	AT8449 montura anti-choque para pedestales estridados de 1/2"-27; cubierta contra el polvo para micrófono; estuche protector portátil

\*En el interés del desarrollo de estándares, la empresa A.T.U.S. ofrece detalles completos sobre sus métodos de pruebas a solicitud de otros profesionales de la industria.  
 \*1 Pascal = 10 dina/cm<sup>2</sup> = 10 microbares = 94 dB SPL.  
 \*Típico, Medida A, usando el sistema Audio Precision System One.  
 Las especificaciones están sujetas a cambios, sin previo aviso.



**Audio-Technica U.S., Inc.**, 1221 Commerce Drive, Stow, Ohio 44224  
**Audio-Technica Limited**, Old Lane, Leeds LS11 8AG Inglaterra  
 www.audio-technica.com

P51460-SP ©2002 Audio-Technica U.S., Inc. Impreso en EE. UU.

# ARTcessories™

Creative audio solutions in cool little boxes.

March 2003

## Phantom II

12V / 48V Phantom Power

Battery or AC Powered



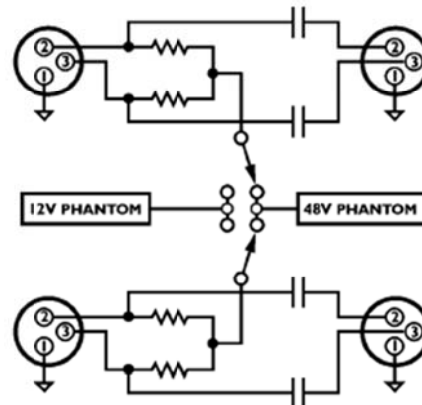
Condenser microphones usually specify different requirements for their phantom power. These ratings can range from 48 Volts all the way down to 9 Volts. Fortunately, there's a certain amount of flexibility with matching Phantom Power voltage to your mic. A rough rule-of-thumb would be "more is better." For example, a 24-volt condenser mic usually works perfectly with a 48 Volt Phantom Power Supply. Some mics rated at as little as 9 Volts can operate on voltages up to 48 Volts (check with the manufacturer first). Conversely, a mic will generally perform best driven by not less than its rated voltage. So, for a 48 Volt mic, you would get best performance with 48 Volts of Phantom Power.

### Specifications:

- The Phantom II provides Phantom Power for one or two condenser mics.
- A three-way 12V/OFF/48V selector switch lets you choose 48V for mics rated at 24 to 48V, 12V for lower-voltage mics or OFF to conserve battery life.
- The power LED goes out when the unit is running on batteries and switched OFF, but remains on while an AC adapter is in use.
- Low-noise operation is featured in all modes
- Input Connectors: 2 x XLR female
- Output connectors: 2 x XLR male
- Required batteries: 2 x 9V
- Optional AC adapter: 12V DC
- Power: Can be supplied by two 9V batteries (included) or an AC adapter.
- Size: 5.625 x 1.75 x 3.625 inches (144mm x 45mm x 92mm)
- Weight: 1.5lb (680g)

### Usage:

- Set the selector switch to the voltage setting closest to the mic's rating.
- Connect mic cable to an Input connector on the unit.
- Using another mic cable, patch from the adjacent (male) Output connector on the unit to a mic input on the mixer.
- If you are running on batteries, remember to switch the unit off when not in use.



AMPLIFICADOR



Technische Informationen  
 Engineering Data Sheet

**Q Series**  
 Professional Power Amplifiers

**Beschreibung**

Die Endstufen der Q-Serie von Electro-Voice bieten eine hohe, stabile Ausgangsleistung bei hohem Wirkungsgrad auf hohem Performance-Niveau. Sie eignen sich somit ideal als Antrieb für eine Vielzahl von Mobil- und Clubsystemen, wie z.B. für Lautsprecher der ZX, Tour-X und Phoenix Familien.

Weitere Q Series Eigenschaften:

- **Umfangreiche Schutzschaltungen** - Schutz vor Überhitzung, Überlast, Kurzschluss, Hochfrequenz und Gleichspannung am Ausgang
- **Patentierter LPN-Filter** - zuschaltbare Optimierung von Frequenzgang und Einschwingverhalten der Lautsprecher

**Description**

Electro-Voice Q series amplifiers offer a package of reliable high output power, high efficiency and legendary pro audio performance. They are the premium choice as system drive for a variety of mobile and club sound systems like e.g. ZX, Tour-X and Phoenix loudspeaker families.

Additional Q series features:

- **Comprehensive protection system** - protection against overheating, overload, short circuit, HF and DC
- **Patented LPN filter** - switchable frequency and phase response correction of connected loudspeakers

**Part Number**

		100 V	120 V	230 V	240 V
<b>Q44</b>	<b>Professional Power Amplifier 2 x 450 W</b>	F.01U.076.833	F.01U.076.825	F.01U.076.821	F.01U.076.829
<b>Q66</b>	<b>Professional Power Amplifier 2 x 600 W</b>	F.01U.076.834	F.01U.076.826	F.01U.076.822	F.01U.076.830
<b>Q99</b>	<b>Professional Power Amplifier 2 x 900 W</b>	F.01U.076.835	F.01U.076.827	F.01U.076.823	F.01U.076.831
<b>Q1212</b>	<b>Professional Power Amplifier 2 x 1200 W</b>	F.01U.076.836	F.01U.076.828	F.01U.076.824	F.01U.076.832

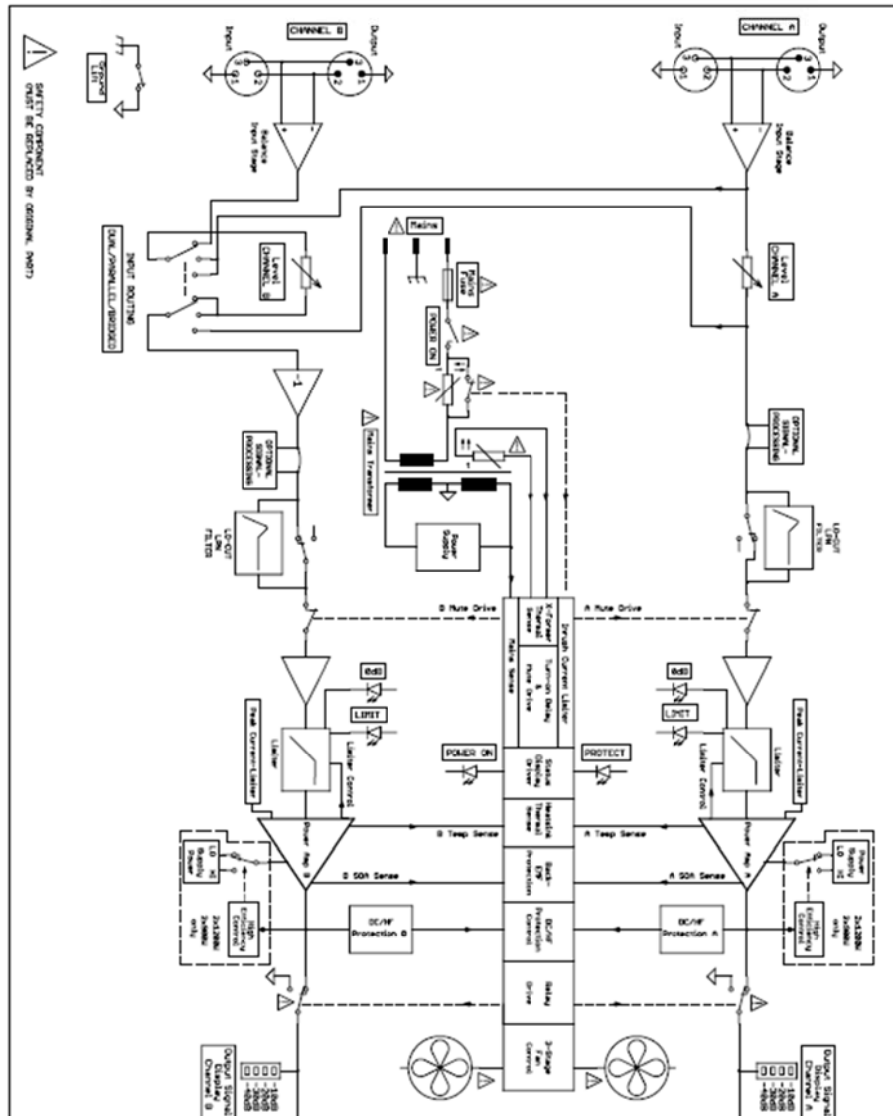
**Inhalt**

- 1 x Endstufe
- 1 x Bedienungsanleitung
- 1 x Netzkabel
- 4 x Standfuß

**Contents**

- 1 x Power Amplifier
- 1 x Owner's Manual
- 1 x Mains Cord
- 4 x Foot Stand





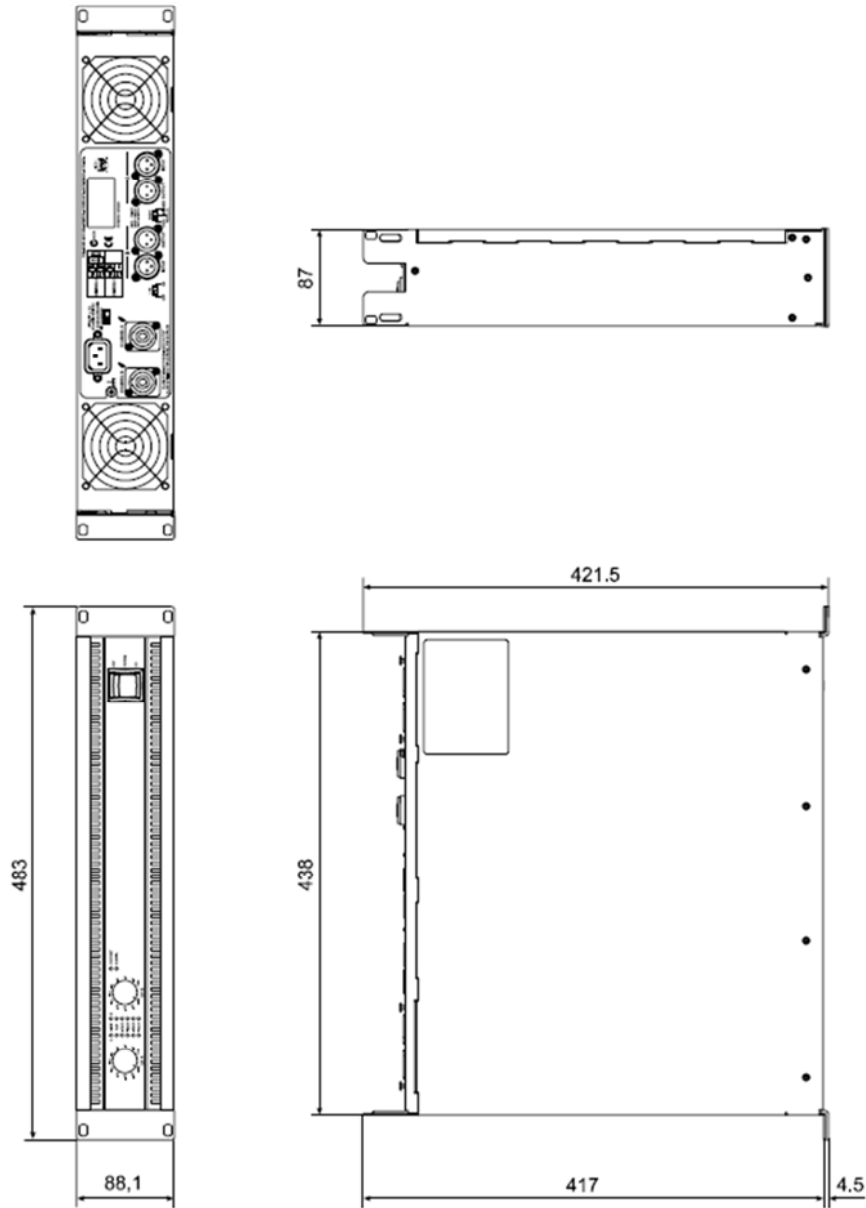


Technical Specifications

	Q44			Q66			Q99			Q1212		
Load Impedance	2 Ω	4 Ω	8 Ω	2 Ω	4 Ω	8 Ω	2 Ω	4 Ω	8 Ω	2 Ω	4 Ω	8 Ω
<b>Maximum Midband Output Power</b> THD = 1%, 1 kHz, Dual Channel	650 W	450 W	270 W	900 W	600 W	380 W	1250 W	900 W	550 W	1800 W	1200 W	750 W
<b>Rated Output Power</b> THD < 0.1%, 20 Hz...20 kHz	-	400 W	200 W	-	500 W	250 W	-	800 W	400 W	-	1100 W	550 W
<b>Maximum Single Channel Output Power</b> Dynamic-Headroom, IHF-A	1150 W	880 W	350 W	1700 W	950 W	480 W	2450 W	1400 W	700 W	3400 W	1800 W	950 W
<b>Maximum Single Channel Output Power</b> Continuous, 1 kHz	850 W	540 W	310 W	1200 W	750 W	420 W	1700 W	1100 W	630 W	2400 W	1500 W	850 W
<b>Maximum Bridged Output Power</b> THD = 1%, 1 kHz	-	1300 W	900 W	-	1800 W	1200 W	-	2800 W	1800 W	-	3600 W	2400 W
<b>Maximum RMS Voltage Swing</b> THD = 1%, 1 kHz	55.3 V			65.1 V			78.8 V			90.6 V		
<b>Power Bandwidth</b> THD = 1%, ref. 1 kHz, half power @ 4 Ω	< 10 Hz...30 kHz											
<b>Voltage Gain</b> , ref. 1 kHz	32.0 dB											
<b>Input Sensitivity</b> rated power @ 8 Ω, 1 kHz	+2.2 dBu (1.0 V <sub>rms</sub> )			+3.1 dBu (1.11 V <sub>rms</sub> )			+5.1 dBu (1.39 V <sub>rms</sub> )			+6.6 dBu (1.66 V <sub>rms</sub> )		
<b>THD at rated output power</b> MBW = 80 kHz, 1 kHz	< 0.03%											
<b>IMD-SMPTE</b> , 60 Hz, 7 kHz	< 0.1%											
<b>DIM30</b> , 3.15 kHz, 15 kHz	< 0.05%											
<b>Maximum Input Level</b>	+21 dBu (8.69 V <sub>rms</sub> )											
<b>Crosstalk</b> ref. 1 kHz, at rated output power	< -90 dB											
<b>Frequency Response</b> , ref. 1 kHz	10 Hz...40 kHz (±1 dB)											
<b>Input Impedance</b> , active balanced	20 kΩ											
<b>Damping Factor</b> , 1 kHz	> 300											
<b>Slew Rate</b>	25 V/μs			26 V/μs			27 V/μs			30 V/μs		
<b>Signal to Noise Ratio Amplifier</b> A-weighted	> 106 dB			> 107 dB			> 109 dB			> 110 dB		
<b>Output Noise</b> , A-weighted	< -71 dBu											
<b>Output Stage Topology</b>	Class AB						Class H					
<b>Power Requirements</b>	240 V, 230 V, 120 V or 100 V; 50 Hz...60 Hz (factory configured)											
<b>Power Consumption</b> 1/8 maximum output power @ 4 Ω	550 W			700 W			700 W			850 W		
<b>Mains Fuse</b>	240 V / 230 V: T10AH; 120 V / 100 V: T20AH			240 V / 230 V: T12AH; 120 V / 100 V: T25AH			240 V / 230 V: T15AH; 120 V / 100 V: T25AH			240 V / 230 V: T15AH; 120 V / 100 V: T30AH		
<b>Protection</b>	Audio limiters, High temperature, DC, HF, Back-EMF, Peak current limiters, Inrush current limiters, Turn-on delay											
<b>Cooling</b>	Front-to-rear, 3-stage-fans											
<b>Ambient Temperature Limits</b>	+5 °C...+40 °C (40 °F...105 °F)											
<b>Safety Class</b>	I											
<b>Dimensions</b> (W x H x D), mm	483 x 88.1 x 421.5											
<b>Weight</b>	12.6 kg (27.8 lbs)			14.8 kg (32.8 lbs)			16.3 kg (35.9 lbs)			17.7 kg (39.0 lbs)		
<b>Signal Processing</b>	LPN, switchable											
<b>Optional</b>	Rear-rackmount D113223 (RMK-15)											

Depending on the ambient temperature, the unit might not operate continuously at 2 Ω load in Dual Mode or 4 Ω in Bridged Mode.  
 In addition input power exceeds 1.1 times rated power consumption with 2 Ω load in Dual Mode or 4 Ω load in Bridged Mode

Abmessungen / Dimensions



## FUENTE OMNIDIRECCIONAL

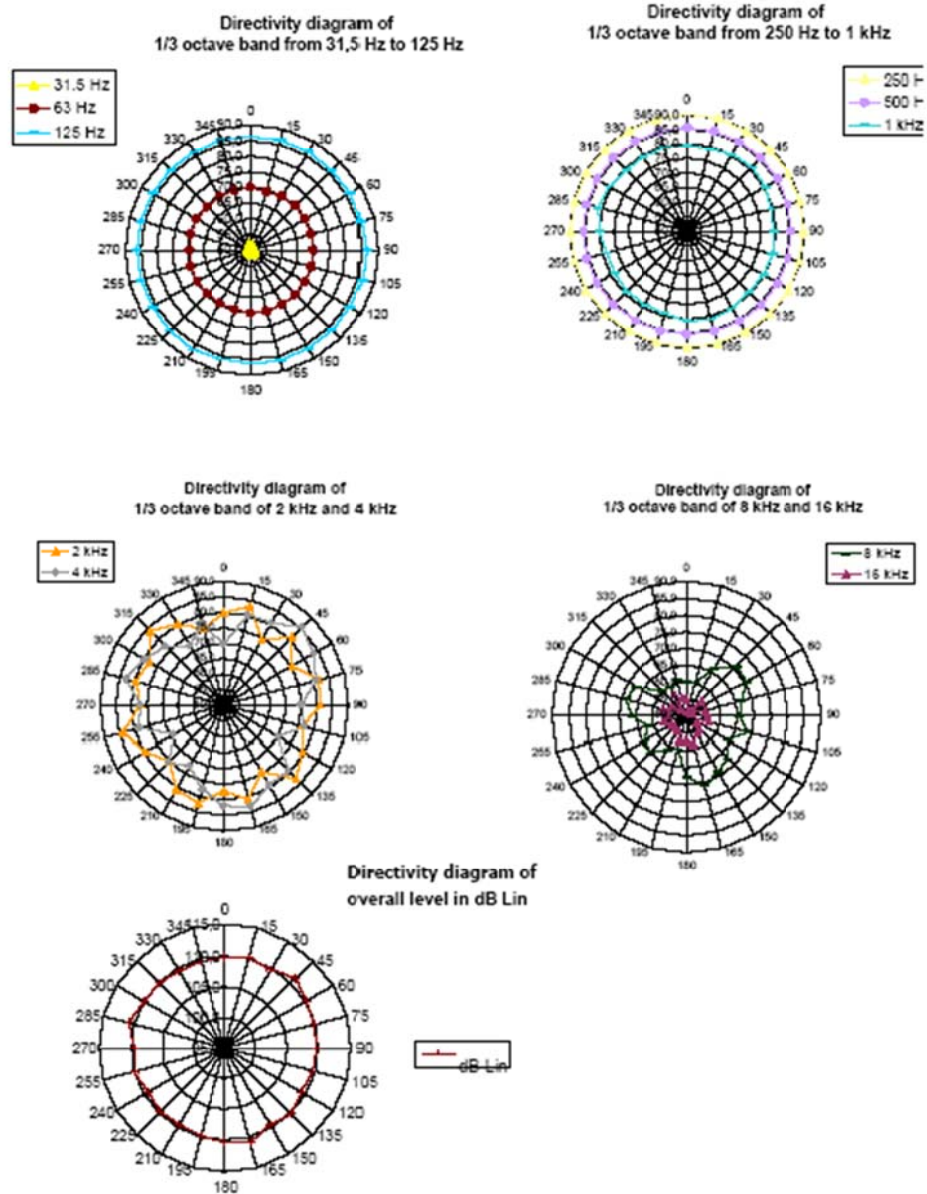
### I. ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DO12

#### Características generales:

- Diseñada para emisión de ruido rosa y blanco
- Potencia máxima de entrada: 600 W.
- Impedancia : 10 Ohmios
- Potencia sonora emitida : 120 dB con emisión de la señal en bandas de octava (80Hz - 6.3kHz)
- Campo sonoro difuso esférico conforme a la norma UNE-EN-ISO 140
- Altavoz dodecaedrico (12 altavoces)
- Diámetro : 450 mm
- Peso: 18 kg. (sin trípode), 8 kg. peso del trípode



## 2. DIAGRAMAS DE DIRECTIVIDAD PARA DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIA



### 3. ACCESORIOS

La fuente dodecaedrica **DO-12** se suministra con maleta de transporte, trípode manual y, en el caso de compra conjunta con el amplificador, cable de conexión con el amplificador...

#### □ Maleta de transporte

La maleta expuesta se emplea para el transporte de la fuente omnidireccional **DO-12** de una forma cómoda y segura.

Dimensiones: -485 mm x -485 mm x -450 mm



#### □ Trípode

El trípode suministrado permite situar la fuente a diferentes alturas y dispone de ruedas para desplazar el equipo de forma cómoda durante las medidas.

Dimensiones: -170mm x -170 mm x -1100 mm



## ½-inch Wide-frequency, Free-field Microphone Type 40AC

### Product Data and Specifications

#### Typical applications

- Precision acoustic measurements
- Type 0 and 1 SPL measurements
- Free-field measurements
- Precision laboratory measurements

The G.R.A.S. Microphone Type 40AC is a ½-inch wide-frequency, precision condenser microphone for laboratory work as well as for measurements in open acoustic fields. It is an externally polarized free-field microphone with a large dynamic range and an extended frequency response.

As a free-field microphone, the Type 40AC is for measuring the sound pressure which existed before it was placed in the sound field pointing towards the sound source.

The disturbing effects of its presence in the sound field are minimal at low frequencies (large wavelengths compared with microphone size). At higher frequencies, the effects of reflections and diffractions generally lead to an increase in the measured sound pressure levels.

Fig. 3 shows what these are in a free-field for various angles of incidence. The Type 40AC compensates for this to provide a flat frequency response at an angle of 0° incidence in a free-field (see Fig. 2).

#### Specifications

Frequency response:		Dynamic range:	
3.15 Hz - 40 kHz	±2.0 dB	Upper limit (3 % distortion):	160 dB re. 20 µPa
5 Hz - 16 kHz	±1.0 dB	Microphone thermal noise:	20 dBA re. 20 µPa
Nominal sensitivity:	12.5 mV/Pa	Capacitance:	17 pF
Polarization voltage:	200 V	Temperature range:	-10°C to +50°C
			...continued overleaf



Fig. 1 ½-inch Wide-frequency, Free-field Microphone Type 40AC (inset shows true size)

G.R.A.S. ½-inch preamplifiers (see data sheets for Types 26AG, 26AH, 26AJ, 26AK and 26AM) are also available for use with the Type 40AC. The mounting thread (11.7 mm - 60 UNS-2) is compatible with other available makes of similar microphone preamplifiers.

All G.R.A.S. microphones comply with the specifications of IEC 1094: *Measurement Microphones, Part 4: Specifications for working standard microphones.*

Non-corrosive, stainless materials are used in manufacturing these microphones to enable them to withstand rough handling and corrosive environments.

All G.R.A.S. microphones are guaranteed for 5 years and are individually checked and calibrated before leaving the factory. An individual calibration chart is supplied with each microphone.

Ver. 24.04.07

**G.R.A.S.**  
**Sound & Vibration**

Skovlytoften 33  
 2840 Holte, Denmark  
 Tel +45 45 66 40 46 Fax +45 45 66 40 47  
 e-mail: gras@gras.dk www.gras.dk

½-inch Wide-frequency, Free-field Microphone Type 40AC

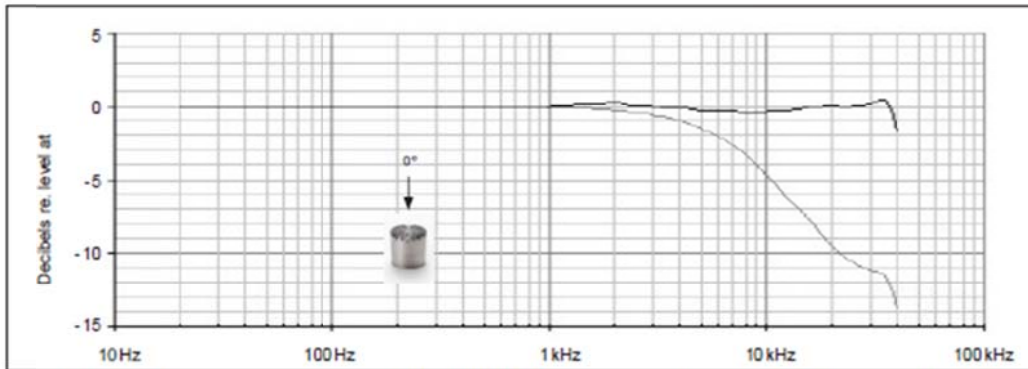


Fig. 2 Typical frequency response of Type 40AC. Upper curve shows free-field response for 0°, lower curve shows pressure response

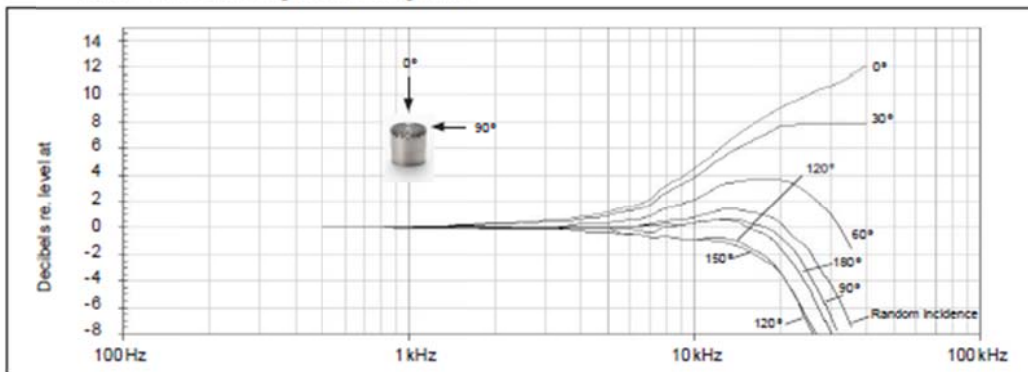


Fig. 3 Free-field corrections for various angles of incidence

Specifications (continued)

<b>Temperature coefficient (250 Hz):</b>	-0.002 dB/°C	<b>Dimensions (with protection grid):</b>	
<b>Static-pressure coefficient:</b>	-0.008 dB/k Pa	Length: .....	12.5 mm
<b>Humidity range:</b>	0 - 100% (non-condensing)	Diameter: .....	13.2 mm
<b>Influence of humidity (250 Hz):</b>	<0.1 dB (0 - 100% RH)	<b>(without protection grid):</b>	
<b>Influence of axial vibration, 1 m/s<sup>2</sup>:</b>	66 dB re. 20 μ Pa	Length: .....	11.6 mm
<b>Venting:</b>	Rear vented	Diameter: .....	12.7 mm
<b>IEC 1094-4 designation:</b>	WS2F	<b>Diameter (diaphragm ring):</b>	12.1 mm
		<b>Threads:</b>	
		Protection Grid: .....	12.7 mm - 60 UNS
		Preamplifier Mounting: .....	11.7 mm - 60 UNS
		<b>Weight:</b>	7 gm

G.R.A.S. Sound & Vibration reserves the right to change specifications and accessories without notice

**G.R.A.S.**  
**Sound & Vibration**

Skovlytoften 33  
 2840 Holte, Denmark  
 Tel +45 45 66 40 46 Fax +45 45 66 40 47  
 e-mail: gras@gras.dk www.gras.dk



CABEZA BINAURAL



**DATASHEET**

**HSU III (Code 1323)**

Head-shoulder unit with analog measurement microphones for aurally accurate recordings

**Overview**

The head-shoulder unit HSU III is an artificial head with high-end analog microphones for binaural recordings. The HSU III is used in the same way as conventional measurement microphones, so it can be connected directly to various frontends.

The artificial head is an accurate reproduction of all acoustically relevant parts of the human outer ear, allowing aurally accurate binaural recordings of sound events including all characteristics of human hearing perception, in particular spatial hearing.

**Features**

- Reproduction of all acoustically relevant parts of the human head and upper body for aurally accurate measurements
- Can be used just like any conventional measurement microphone
- High-end analog microphones
- Extremely low-noise
- Equalization options: ID, FF, DF, USER, LIN (no equalization)
- Calibratable with pistonphon
- Threaded mounting platform on the top side of the HSU III head for attaching e.g. the laser pointer TLP

**Applications**

- Aurally accurate binaural recordings
- Acoustic environment protection
- Trouble shooting
- Sound design
- Sound diagnosis

**Standard delivery items**

- HSU III (Code 1323)  
Head-shoulder unit with analog measurement microphones for aurally accurate recordings
- CLL IV.2 (Code 1236)  
2 x LEMO cables: 7 pin male <-> 7-pin male, 2 m (78.74")
- SBH I (Code 1315)  
Stand base for HSU
- Equalization CD
- Manual

**Accessories**

- HSM V (Code 1520)  
Seat Mount Adapter
- HTB V (Code 1374)  
HEAD Torso Box
- HSC IV (Code 1524)  
Carrying case
- HMT II Code 1962)  
Height-adjustable tripod

- HWS II (Code 1960)  
Wind screen for outdoor recordings
- TLP (Code 1967)  
Triaxial laser pointer

**Recommended front-end**

- BEQ II.1 (Code 1347)  
Binaural, digital equalizer with 24-bit technology and USB port

**Recommended software**

- ArtemiS (Code 4600)  
Multi-channel analysis software for acoustic and vibration analysis (incl. HEAD Recorder)
- HEAD Recorder (Code 4630)  
Programmable recording software for all front-ends supported by HEAD acoustics

**Technical data HSU III**

**Microphones**

Microphones:	2 x 1/2" electrostatic microphones, 200 V polarization voltage
Frequency response:	3.5 Hz to 20 kHz ( $\pm 2$ dB)
Sound pressure level (max.):	146 dB <sub>SP</sub> (<3% distortion at 1 kHz)
Unweighted noise voltage:	<3 $\mu$ V
Noise voltage:	<2 $\mu$ V(A)
Dynamic range:	129.5 dB
Inherent noise, incl. impedance converter (acoust.):	15.5 dB <sub>SP</sub> (A), typ. (without equalization)
Sensitivity (typ.):	50 mV / Pa, nominal

**Impedance converter**

Distortion factor with sinus 1 kHz: <0.01%, 1 kHz, electr. at 0 dB(V)

**Miscellaneous**

Interface:	2 x Lemo, 7 pin
Thread mounting platform:	M6
Tripod socket:	UNC 3/8"
Operating temperature range:	0°C to 50°C (32°F - 122°F)
In-store temperature range:	-20°C to +70°C (-4°F - 158°F)
Weight:	4.3 kg (9.48 lb)
Dimensions (WxDxH):	450 mm x 400 mm x 180 mm (17.72" x 15.75" x 7.09")

Radiated emission according to: EN 61326-1 (equipment class B)

Radiated immunity according to: EN 61326

Safety according to: EN 61010-1

Physical dimensions of the head designed according to ITU P 58, section 4.2 and comparable to ANSI 3.36, table 1 and IEC 959, table 1.

Please note: Without torso box, some dimensions in P.58, table 1 are not applicable.

The monaural frequency responses comply with ITU P 58, table 4 and to those that can be derived from ANSI 3.36, table 3 and IEC 959, table 3.

## PREVIOS NORSONIC

### Nor335 8 Channel Microphone Preamplifier Power Supply

8-channel Microphone Preamplifier Power-supply with LEMO input connectors. Designed for use with Sony PC-208 (or PC-204), TEAC RD-135 or as a general microphone front end for a PC (specify on order). Battery powered.



- Selectable polarisation voltages of 200 and 0 volts
- Twenty eight-volt supply to the preamplifiers
- Overload indication
- Amplification of 40 dB in 10 dB steps
- A, C or Flat frequency weightings are provided
- Selectable 20Hz high pass filter
- Very small phase difference and cross talk between channels
- Internal batteries (standard C cells) give 14 hours' operation; alternatively may be powered from and external 7 to 18 volt DC source
- Dimensions: 133x310x295 mm when configured for Sony recorders
- Weight: 2.2 kg excluding batteries.

## 9. ANEXO 2. PLANES DE MEDIDA

MEDIDAS 13 DE OCTUBRE DE 2011

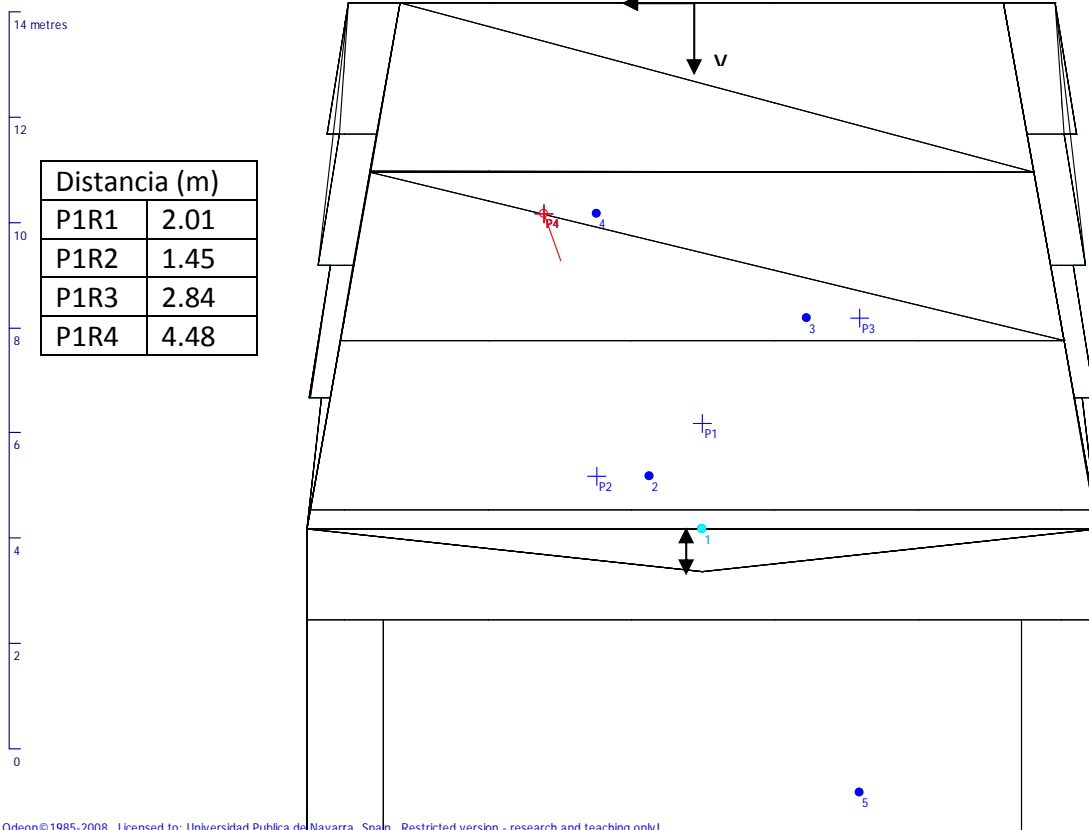
### 1 - CARACTERIZACIÓN Zona de Escenario

#### SETUP: sweeps con dos micrófonos GRAS

Un receptor fijo: R1 posición director (h=1.70m)

Posiciones de fuente en P2, P3 y P4 (h=1.50m) (serán luego las 3 posiciones de fuente en las que hagamos los barridos por toda la sala).

Tres receptores R2, R3 y R4 (OJO, **h=1.50m**, para medir correctamente ST). ISO 3382: "Las medidas se deberían realizar preferiblemente con sillas y atriles en la plataforma de la orquesta, pero se deberían retirar las sillas y atriles situados en un radio de 2m en torno a la fuente y el micrófono"



Odeon©1985-2008 Licensed to: Universidad Pública de Navarra, Spain Restricted version - research and teaching only!

Nº	Canales / micrófono				Nombre ficheros		Comments	
Escenario								
	Source	Ch1		Ch2		(Ch1)	(Ch2)	
0_e	P2	R2	Gras	R1	Gras	-	-	Comprobar SNR
1_e	P2	R2	Gras	R1	Gras	P2R2	P2R1	ST en R2, R3 y R4 + parámetros en director
2_e	P3	R3	Gras	R1	Gras	P3R3	P3R1	
3_e	P4	R4	Gras	R1	Gras	P4R4	P4R1	

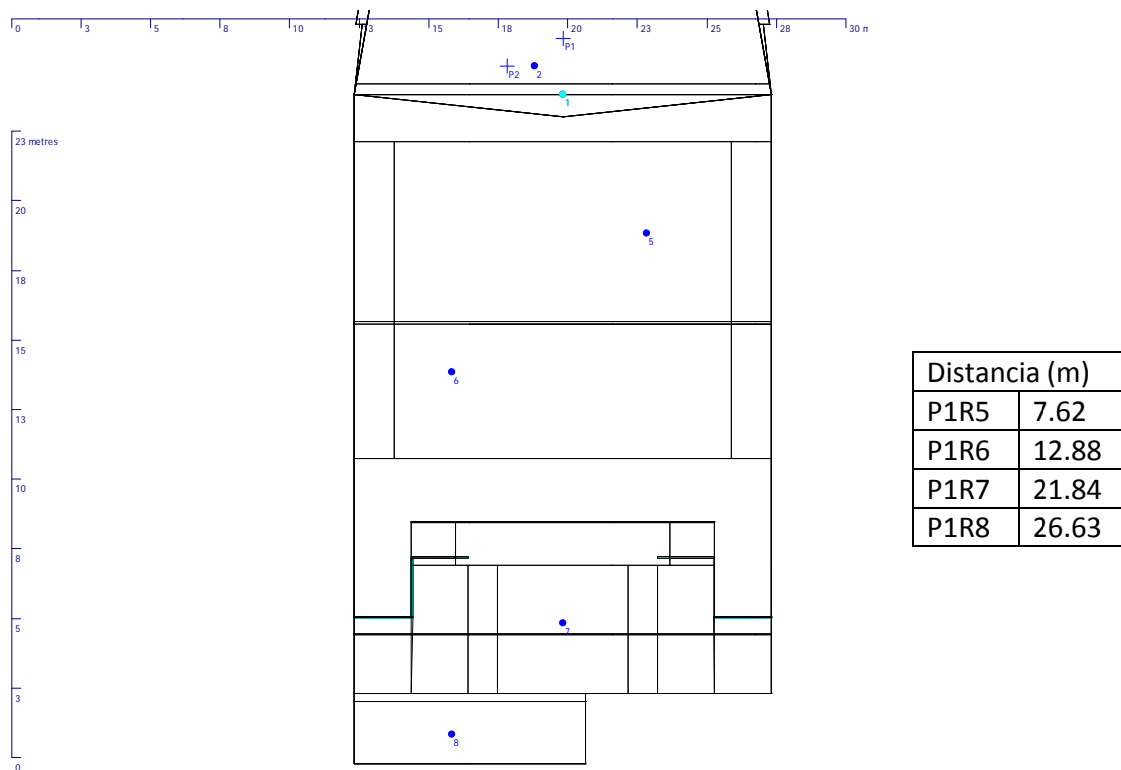
## 2 - CARACTERIZACIÓN Zona de Audiencia

**SETUP1: sweeps con Ch1 : Micrófono GRAS y Ch2 : Micrófono AudioTechnica**

**SETUP2: sweeps con cabeza binaural**

Una fuente fija P1 (h=1.5m)

Cuatro receptores R5, R6, R7 y R8 (h=1.20m) en posiciones aproximadas (con las distancias de referencia P1RX marcadas – con el medidor láser) a las de la figura (OJO, R7 algo adelantado y R8 “dentro” de la sala). Apuntar FILA-BUTACA



Odeon©1985-2008 Licensed to: Universidad Pública de Navarra, Spain Restricted version - research and teaching only!

Nº	Canales / micrófono					Nombre ficheros		Comments
Audiencia monoaurales y laterales SETUP 1								
	Source	Ch1		Ch2		(Ch1)	(Ch2)	
0_a	P1	R8	Gras	R7	AT_om	-	-	SNR adecuada
1_a	P1	R8	Gras	R7	AT_om	P1R8a	P1R7ATom	Parámetros mono y laterales en R5 a R8 (los monoaurales dos veces, a y b)
2_a	P1	R8	Gras	R7	AT_f8	P1R8b	P1R7ATf8	
3_a	P1	R7	Gras	R8	AT_om	P1R7a	P1R8ATom	
4_a	P1	R7	Gras	R8	AT_f8	P1R7b	P1R8ATf8	
5_a	P1	R5	Gras	R6	AT_om	P1R5a	P1R6ATom	
6_a	P1	R5	Gras	R6	AT_f8	P1R5b	P1R6ATf8	
7_a	P1	R6	Gras	R5	AT_om	P1R6a	P1R5ATom	
8_a	P1	R6	Gras	R5	AT_f8	P1R6b	P1R5ATf8	
Audiencia binaurales SETUP 2								
	Source	Ch1-Ch2 (L-R)			(Ch1-Ch2 (L-R))			
0_b	P1	R8	Cabeza		-		SNR adecuada	
1_b	P1	R8	Cabeza		P1R8cab		Parámetros binaurales en R5 a R8	
2_b	P1	R7	Cabeza		P1R7cab			
3_b	P1	R6	Cabeza		P1R6cab			
4_b	P1	R5	Cabeza		P1R5cab			

MEDIDAS CONSERVATORIO 17 AL 21 DE OCTUBRE 2011

**OBJETIVOS:**

Barridos butacas audiencia para 3 posiciones de fuente

Barrido zona de escenario para 1 posición de fuente

Estudio del ST dependiendo orientación

Dibujo de la sala en Google sketchup ¿podría hacerse mientras dos personas miden?

**SUGERENCIAS:**

Para barridos: Carpetas individuales para cada posición de fuente y que el número de fichero corresponda con un número de butaca que nosotros pongamos, empezando en 001, 002, 003 hasta las 400 (o las que haya). También se puede estudiar el tema de “guardado automático” aunque conviene ir mirando que la IR sale “bien” en cada medida.

17 de octubre: Lunes

**SETUP: sweeps con dos micrófonos GRAS**

Mañana: Posición de fuente P2 (h=1.50m) Barrido butacas audiencia

Tarde: Posición de fuente P3 (h=1.50m) Barrido butacas audiencia

18 de octubre: Martes

**SETUP: sweeps con dos micrófonos GRAS**

Mañana: Posición de fuente P4 (h=1.50m) Barrido butacas audiencia

**Tarde (Sugerencia)**

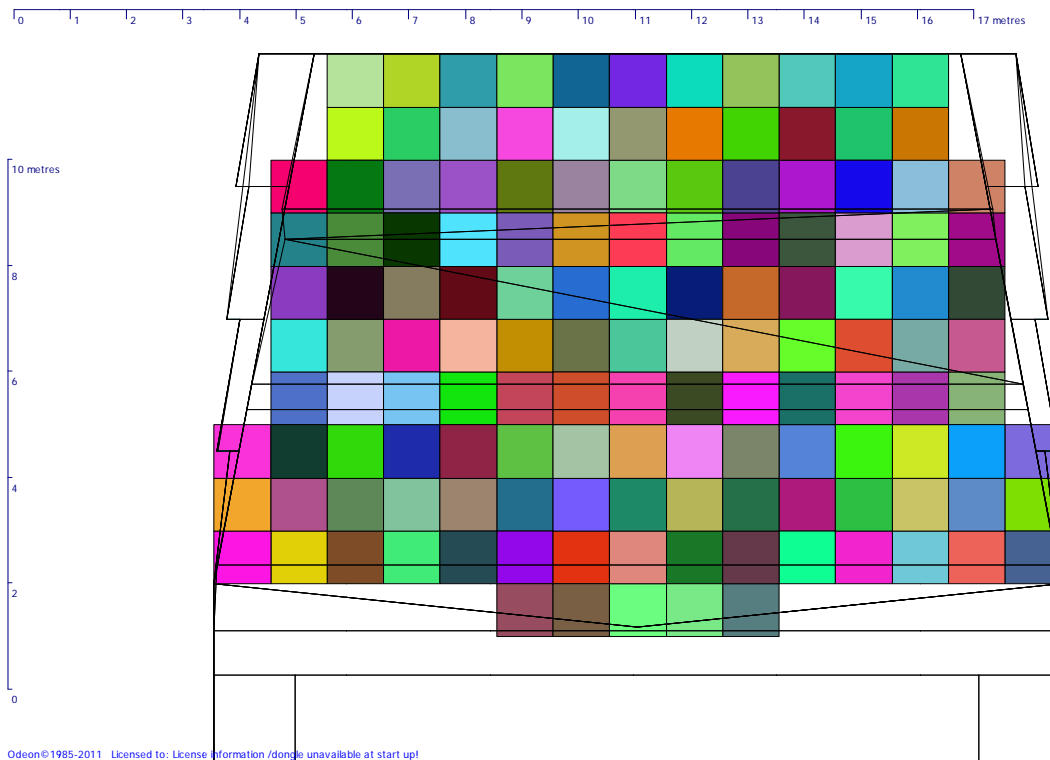
**Zona de Escenario: REJILLA**

**SETUP: sweeps con dos micrófonos GRAS**

Posición de fuente P2 (h=1.50m)

Rejilla en escenario 1x1m alrededor de 140 receptores (en la imagen 137) – 70 barridos

Tiempo estimado: media hora para hacer la rejilla + 1 hora los barridos.



## 2 - Zona de Escenario: ST dependiendo orientación

### SETUP: sweeps con dos micrófonos GRAS

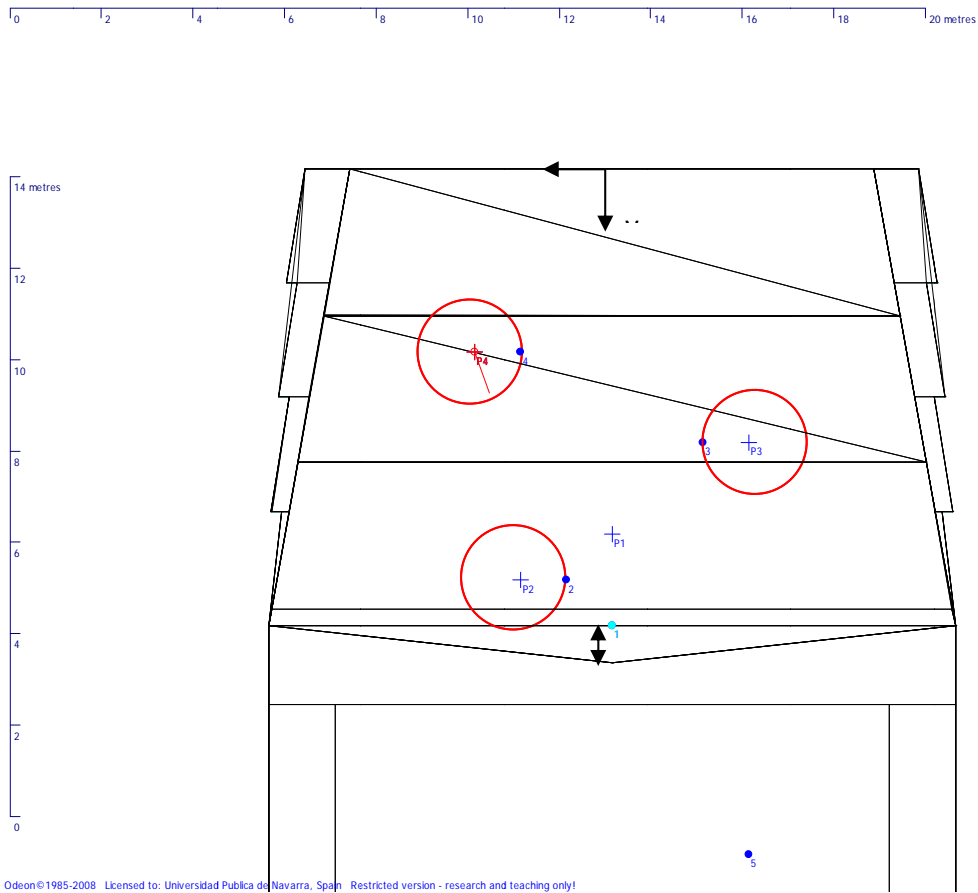
Posiciones de fuente en P2, P3 y P4 (h=1.50m)

Doce receptores alrededor de cada fuente a 1m de distancia (1 cada 30°): (OJO, h=1.50m, para medir correctamente ST).

Total: 18 barridos

Tiempo estimado: media hora para marcar las posiciones + 15' los barridos.





Tiempo total estimado: 2h 15'

### 19 de octubre

Hacer todas las medidas con la cabeza para P1. Poner un maletín en el asiento.

### 20 de octubre

Medidas LF

Ignacio y Abel a las 10 de la mañana. A la tarde Ignacio y Jorge..

El viernes haremos las medidas que faltan y habrá que pensar cómo vamos a organizarnos para recoger el equipo.

### 21 de octubre

De 9 a 15 acabamos medidas LF y recogemos.