

CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE SALAS DE ENSAYO DE MÚSICA FOLKLÓRICA ARGENTINA

JUAN M. ALVAREZ PÉREZ GUAITA¹, ALEJANDRO S. PÉREZ¹ y NICOLAS RAVOTTI¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.
juanmalvarez@live.com.ar, coconoway@gmail.com, nicolas.ravotti@gmail.com

Resumen – Las salas de ensayo tienen por función la práctica habitual de conjuntos musicales y solistas. Es por este hecho que debe considerarse el acondicionamiento acústico de dichos recintos, con el objetivo de poder percibir fiel y nítidamente los detalles de diversas fuentes sonoras (instrumentos musicales). Las características acústicas de estos recintos varían según el género musical para el cual es utilizado, la variedad de instrumentos empleados, niveles sonoros y componentes espectrales, entre otros. Por lo anterior mencionado, resulta relevante conocer las características de un determinado género musical, cuando se diseña ó acondiciona un recinto utilizado como sala de ensayo. En este trabajo se establecen criterios generales de diseño de salas de ensayo utilizadas para la producción de música folklórica argentina, cuando ésta última es ejecutada por cuatro instrumentos típicos como: el bombo legüero, la guitarra, el violín y la voz.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es establecer directrices para el diseño de salas de ensayo orientadas a la producción de música folklórica argentina.

En primer lugar, se realiza un análisis acústico musical del folklore argentino, considerando diversos géneros que utilizan cuatro instrumentos musicales típicos (voz, guitarra, bombo legüero y violín). En segundo lugar, se analizan diferentes aspectos acústicos arquitectónicos, se definen parámetros acústicos de recintos y describen técnicas y elementos utilizados para el control del campo sonoro. Por último, se mencionan aspectos básicos para el diseño ó acondicionamiento acústico de recintos utilizados como sala de ensayo para los géneros estudiados.

2. ASPECTOS ACÚSTICOS DE LA MÚSICA FOLKLÓRICA ARGENTINA

2.1 Géneros clásicos y sus características rítmicas y acústicas

Los géneros folklóricos argentinos son múltiples y variados, y si bien no es el objetivo de este trabajo hacer un análisis exhaustivo de cada uno de ellos, cabe destacar que algunos como la zamba, cueca, tonada y milonga campera, entre otros, presentan similitudes en su composición musical e instrumental. Otros como el chamamé, la chacarera, el carnavalito, el huayno o la chaya, evidencian marcadas diferencias entre sí, incluso en la conformación instrumental.

En este trabajo se estudian particularmente los géneros del primer grupo, considerando a la zamba como el más representativo, tanto por su evolución como por su expansión a todas partes del país. Así

puede decirse que es un género que no pertenece a un sector geográfico en particular y que varios músicos, de distintos ámbitos, han compuesto e interpretado zambas de formas muy variadas.

Si se consideran características rítmicas, según diferentes interpretes, la zamba puede ser ejecutada en un ritmo de 6/8, de 3/4 ó de ritmo mixto entre 6/8 y 3/4.

2.2 Instrumentos musicales

La música folklórica argentina se caracteriza principalmente por una diversa y gran cantidad de instrumentos musicales. Algunos de ellos como el bombo legüero, charango, ronroco, quena y erque son originarios de estas tierras y otros fueron introducidos, como es el caso del violín, bandoneón, guitarra y piano. Si bien la lista es extensa, la guitarra y el bombo legüero están presentes en casi todos los géneros. Por este motivo se desarrollan las principales características de estos dos, incluyendo la voz (instrumento fundamental en casi todos los géneros musicales) y el violín, que participa frecuentemente en el folklore argentino, ejecutándose de una forma diferente a la tradicional.

2.2.1 Guitarra

En el folklore argentino se utiliza la guitarra acústica con cuerdas de nylon, comúnmente denominada “criolla ó clásica”. Este tipo de instrumento utiliza únicamente su caja acústica como amplificador. La caja acústica actúa como un resonador de Helmholtz, el cual por su volumen interior, apertura, presenta modos propios de vibración. Estas resonancias actúan amplificando o atenuando diferentes sonidos (tonos armónicos).

Las dos caras principales de la caja acústica definen la tonalidad de la guitarra, ya que ambas tienen su propia resonancia. El sonido de la guitarra es una compleja mezcla de armónicos que le da su sonido distintivo.

La guitarra cubre típicamente el espectro de frecuencias comprendido entre 82 Hz a 1,2 kHz, con armónicos de hasta 5 kHz. La Figura 1 muestra un espectro de frecuencias de una guitarra grabada, extraída de una zamba argentina.

2.2.2 Bombo legüero

El bombo es un instrumento de percusión membranófono de timbre grave que habitualmente forma parte de la base rítmica de una producción musical. El bombo debe su amplificación a la caja resonante, que es el mismo cuerpo del instrumento. El termino legüero se debe a que según sus ejecutores, un buen bombo, se escucha ó es audible hasta una legüa de distancia.

Produce sonidos en un amplio espectro de frecuencias (banda ancha) con frecuencias fundamentales desde los 50 Hz hasta los 100 Hz. Sus sonidos son de carácter impulsivo (corta duración). En la Figura 2, se muestra el espectro generado por

un bombo legüero al ser percutido con una baqueta de madera.

2.2.3 Violín

El violín pertenece al grupo de los instrumentos de cuerda frotada.

Tiene por principios de amplificación los mismos que el de la guitarra. Difiere en la composición espectral ya que el mismo tiene una gran cantidad de armónicos superiores, con gran contenido armónico en de altas frecuencias, extendiéndose hasta los 16 kHz. Las frecuencias fundamentales del violín van desde los 200 Hz hasta los 1,3 kHz. La Figura 3 muestra el espectro de frecuencias de un violín ejecutado por “Peteco” Carabajal.

2.2.4 Voces

La zamba es cantada por voces masculinas y femeninas. El espectro de frecuencias típico de la voz femenina es de 240 Hz hasta 4,5 kHz, mientras que para las masculinas es de 120 Hz hasta 3,5 kHz. En la Figura 4 se puede apreciar el espectro de frecuencias de una voz masculina.

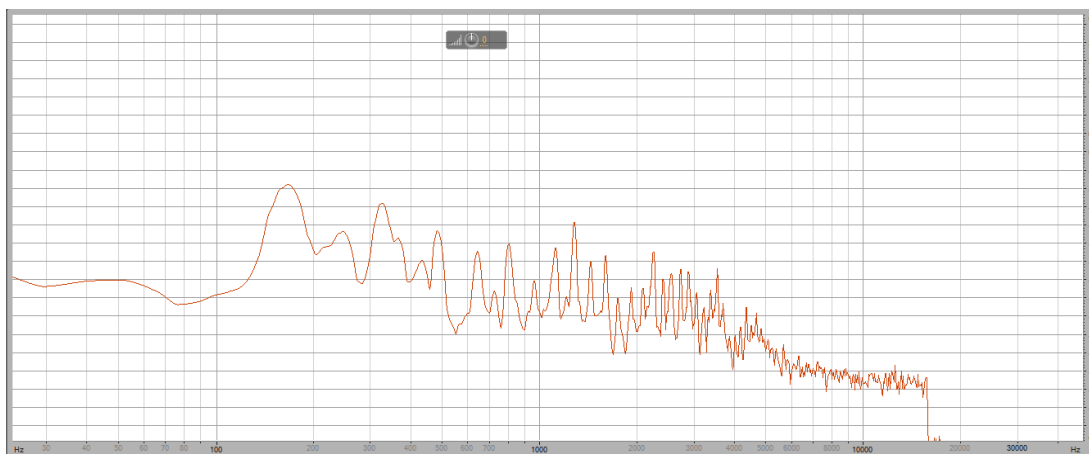


Figura 1: Espectro de guitarra acústica (intérprete: Jorge Cafrune).

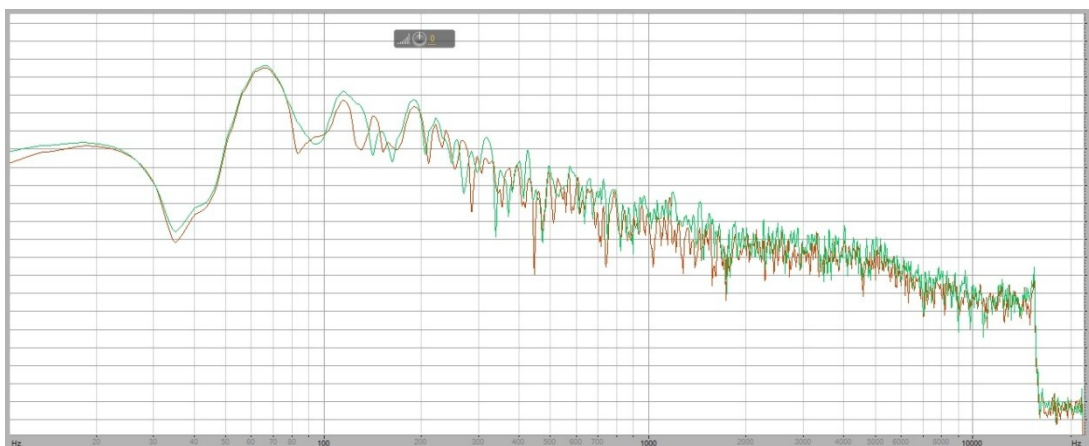


Figura 2: Espectro de un bombo (intérprete: Duo Coplanacu).

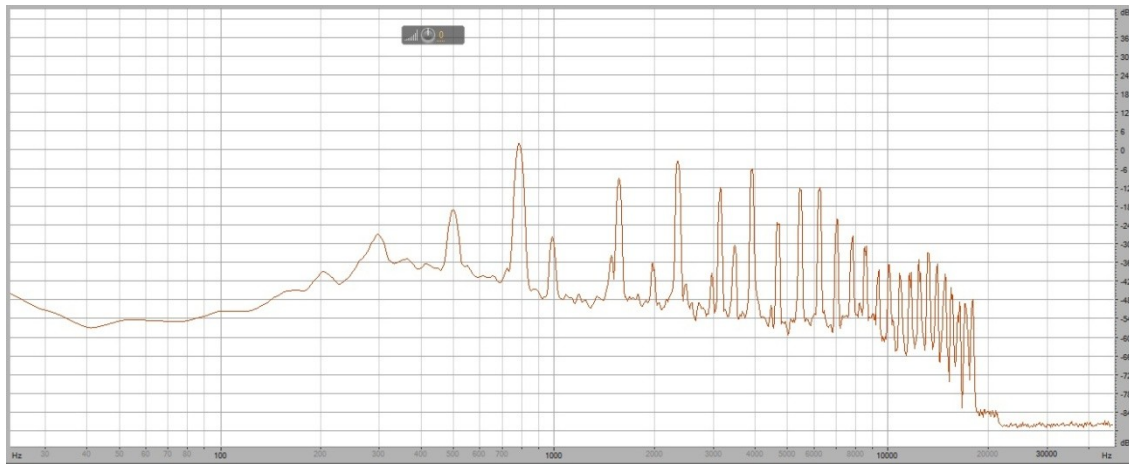


Figura 3: Espectro de un Violín (intérprete: “Peteco” Carabajal).

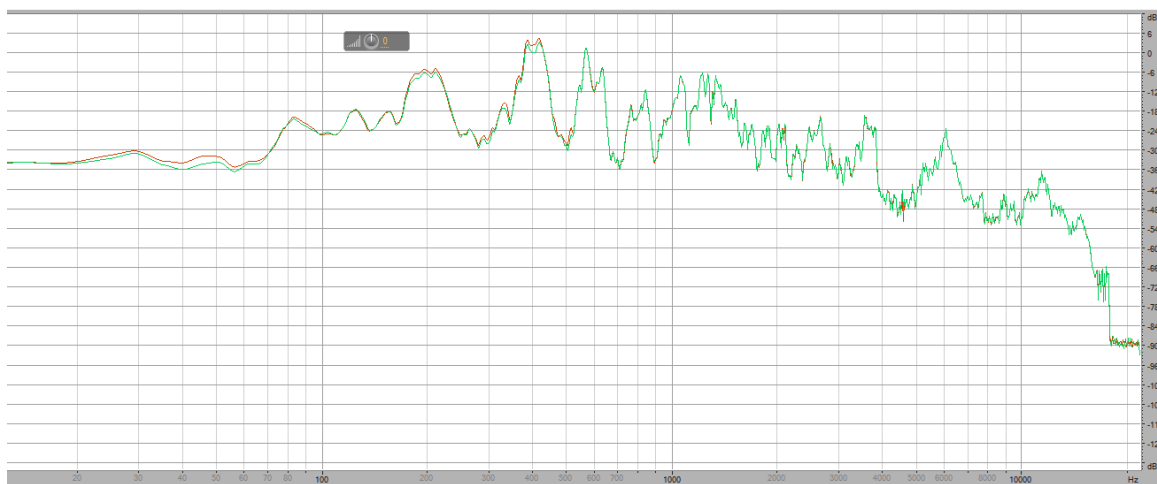


Figura 4: Espectro voz masculina.

3. ASPECTOS ACUSTICOS DE SALAS

3.1 Acústica Arquitectónica

Es el área de la acústica que estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de concierto, un estudio de grabación, entre otros. Esto involucra también el problema de aislamiento acústico entre recintos [1].

3.2 Campo sonoro

Se define como campo sonoro al conjunto de puntos del espacio que pueden caracterizarse a través de niveles de presión sonora producidos por una fuente localizada en un espacio ilimitado (campo libre) ó limitado (recinto cerrado ó semicerrado). Cuando la fuente se localiza en un recinto, se analizan dos tipos de campos: a) El formado por sonidos que llega directamente desde la fuente (*campo directo*); b) El formado por sonidos que arriban al oyente luego de haberse reflejado múltiples veces en paramentos y objetos del recinto (*campo reverberante*).

Al realizar un registro temporal que permita analizar las diferencias temporales de arribo de las ondas sonoras al oyente (*ecograma*), puede afirmarse que en cuanto al sonido reflejado se identifican dos intervalos temporales de marcadas diferencias. El primero, formado por reflexiones que arriban al oyente en forma discretizada, inmediatamente después del sonido directo, el cual recibe el nombre de *sonido temprano* ó *reflexiones tempranas*. El segundo, formado por múltiples reflexiones de orden superior (5°, 6°, 7°, 8°, dependiendo de la geometría del recinto) que arriban casi simultáneamente al oyente y de menor amplitud, el cual recibe el nombre de *sonido tardío* ó *reflexiones tardías*.

3.2.1 Ruido de fondo

En acústica de recintos, se denomina *ruido de fondo* ó *residual* al sonido indeseado presente en un recinto producido por fuentes externas ó internas que no contienen información en el canal de comunicación acústico. La evaluación de dicho ruido se realiza según diferentes criterios (por lo general midiendo los niveles sonoros espectrales en el recinto cuando en él no está funcionando ninguna fuente de información acústica interior). El ruido de fondo

puede ser producto de una ó múltiples fuentes acústicas interiores al recinto (sistema de ventilación, iluminación, dispositivos mecánicos, etc.), o bien provenir de cualquier fuente exterior, ingresando a éste por vía aérea o vía sólida. Los criterios más utilizados para la evaluación del ruido de fondo son la familia de curvas NC y RC, definidos en la norma IRAM 4070.

3.2.1.1 Perfiles de ruido NC

Este criterio introducido en 1955, se aplica a recintos cerrados con el fin de optimizar la inteligibilidad de la palabra y la claridad de la música. Si un recinto cerrado está diseñado según alguna de estas curvas, en su interior ninguna componente espectral del ruido de fondo superará el perfil indicado por la curva seleccionada para el diseño. Este criterio plantea que ninguna fuente interior de ruido puede estar funcionando al momento realizar la evaluación. La figura 5 muestra la familia de curvas NC.

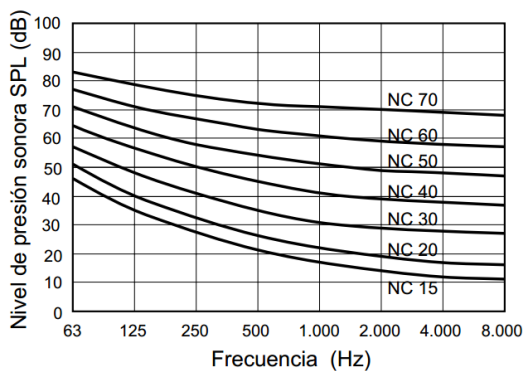


Figura 5: Perfiles de ruido NC [2].

3.2.1.2 Perfiles de ruido RC

Este criterio de evaluación fue propuesto en 1981, y está orientada al diseño acústico de sistemas de calefacción, aire acondicionado y ventilación (HVAC systems), ya que considera que dichos sistemas están funcionando al realizar la evaluación.

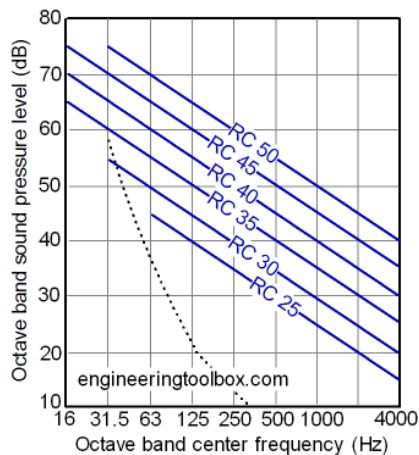


Figura 6: Perfiles de ruido RC. Cada curva identifica un espectro sonoro y el número de curva representa un nivel de presión sonora.

3.3 Modos propios de vibración.

Cualquier recinto, sin importar su tamaño, se pueden considerar como resonadores acústicos complejos, ya que entre sus superficies limitantes se establece una gran cantidad de ondas estacionarias (resonancias) denominadas *modos propios ó normales de vibración*. Los modos propios de recintos dependen de las dimensiones del mismo y de los materiales con los que está construido (condición de borde absorbente, reflejante ó híbrida). Cada modo propio tiene asociada una frecuencia de resonancia.

A lo largo del eje de frecuencias la distribución de los modos propios cambia. Para frecuencias bajas se distribuyen de forma discreta. A medida que la frecuencia aumenta la distribución se vuelve continua y la amplitud de los modos disminuye [2].

Al analizar la excitación de ciertos modos propios, para una configuración espacial fuente receptor en el recinto, se evidencia el aumento de energía sonora entorno a determinadas frecuencias propias dándole un sonido particular al recinto, denominado *coloración*.

Para recintos paralelepípedicos, las frecuencias propias ó modales pueden calcularse a través de la fórmula de Rayleigh, la cual está derivada de la ecuación de onda tridimensional [2]. Recordando que la frecuencia de un determinado modo depende de las dimensiones de la sala tenemos que:

$$f_{k,m,n} = 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

donde: k, m, y n asumen valores enteros naturales y L_x , L_y y L_z , son las dimensiones del recinto expresada en metros. Cada combinación de ellos da la frecuencia para cada modo propio de vibración.

Es aquí cuando la coloración se hace imperceptible ya que las energías no se concentran más en forma discreta. La siguiente fórmula empírica permite calcular la frecuencia a la cual los modos tienen una influencia casi nula:

$$f_{max} = 1849 \sqrt{\frac{RT_{mid}}{V}} \quad (2)$$

donde RT_{mid} ó T_{mid} (el segundo según norma ISO 3382) es el promedio de los valores comprendidos entre 500 Hz y 1000 Hz y V es el volumen del recinto en metros [2].

Debido a que es inevitable la presencia de modos propios, es factible elegir las proporciones de las dimensiones del recinto de manera de que estos aparezcan distribuidos en el eje de frecuencias lo más uniforme posible. En la Figura 7, se observan las proporciones óptimas de largo, ancho y alto para un recinto paralelepípedo rectangular propuestas por Richard H Bolt.

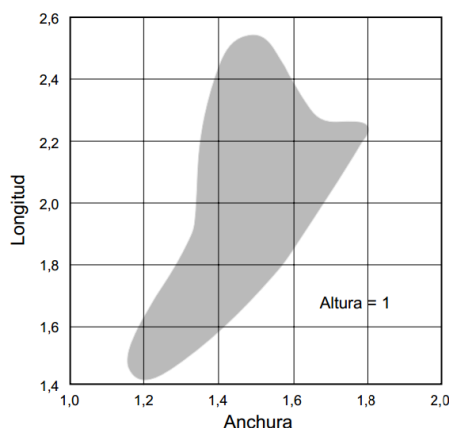


Figura 7: Relaciones óptimas propuestas por R. H. Bolt para recintos rectangulares, para obtener una distribución uniforme de frecuencias propias [2].

3.3.1 Tiempo de reverberación

Se denomina tiempo de reverberación (T) al intervalo temporal que transcurre desde que la fuente sonora interrumpe su emisión hasta que el nivel de presión sonora disminuye 60 dB con respecto a su valor inicial. El T se mide o calcula para bandas de frecuencia por octava ó tercio de octava, y tiende a disminuir con el aumento de la frecuencia.

El tiempo de reverberación de un recinto se diseña según la actividad a realizar en ella. Por ejemplo, para una sala de conferencias es necesario que el T sea menor que 1 s, para la ejecución de música se requerirá un T comprendido entre 1 y 1,7 s, y para salas destinadas a la ejecución de música sinfónica u opera se recomiendan tiempos de reverberación de entre 1,8 y 2,5 s.

A su vez existen otros dos parámetros relacionados con el tiempo de reverberación, la Calidez (BR) y el Brillo (Br). La calidez que caracteriza el tiempo de reverberación para bajas frecuencias (se obtiene a partir del promedio aritmético de las bandas de octava de 125 Hz, 250 Hz) y perceptualmente representa la riqueza de graves del recinto. El brillo, caracteriza el tiempo de reverberación para altas frecuencias (se obtiene a partir del promedio aritmético de las bandas de octava de 2000 Hz y 4000 Hz) y perceptualmente representa la riqueza de armónicos del recinto.

Una forma de calcular el tiempo de reverberación de manera sencilla es a través de la fórmula de Sabine [2]:

$$RT = 0,161 \frac{V}{A_{tot}} \text{ (en segundos)} \quad (3)$$

$$A_{tot} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (4)$$

Donde:

V =volumen del recinto (en m^3)

A_{tot} =absorción total del recinto.

$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$

siendo α el coeficiente de absorción de cada superficie [2].

El tiempo de reverberación de una sala va a depender de la actividad que vayamos a realizar en ella. Por ejemplo, para una sala de conferencias es necesario que el T sea menor a 1 s, para la ejecución de música se requerirá un T de entre 1 y 1,7 s, y para salas destinadas a la ejecución de música sinfónica u opera se usan tiempos de reverberación de entre 1,8 y 2,5 s.

3.3.1.1 Medición del tiempo de reverberación

La medición del T puede realizarse de manera directa, determinando el intervalo de tiempo expresado en segundos que tarda un nivel de presión sonora en decrecer 60 dB. Se obtiene a partir de la pendiente de la curva de decrecimiento de energía sonora, obtenida por regresión lineal.

3.3.1.2 Tiempo de reverberación, T_{30} y T_{20}

Estos descriptores son una buena aproximación del tiempo de reverberación para cuando no se dispone de la relación señal ruido necesaria, para su medición en forma directa. Se obtienen de forma similar que el T pero a partir de las pendientes de las curvas de decrecimiento para variaciones de nivel comprendidas entre -5 dB y -35 dB y entre -5 dB y -25 dB para T_{30} y T_{20} respectivamente.

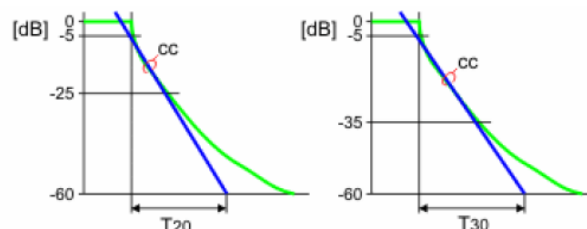


Figura 8: Cálculo del tiempo de reverberación por pendientes de T_{30} y T_{20} [4].

3.3.1.3 Tiempo de decrecimiento temprano, EDT

Propuesto por V. L. Jordan, es el intervalo de tiempo expresado en segundos, medido sobre la curva de decrecimiento energética para variaciones de nivel correspondientes entre 0 dB y -10 dB. Este descriptor se correlaciona de mejor manera con la percepción humana del tiempo de reverberación de un recinto.

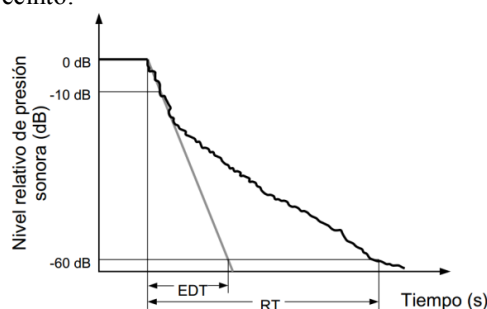


Figura 9: Comparación entre el EDT y el RT ó T [2].

3.3.2 Otros parámetros acústicos

Existen otros parámetros que se usan para estudiar relaciones energéticas tempranas y tardías.

3.3.2.1 Claridad musical, C_{80}

Este parámetro objetivo se correlaciona subjetivamente con el grado de claridad entre diferentes sonidos que conforman una composición musical. Está definido por la razón entre la energía que llega al oyente durante los primeros 80 ms y la energía que llega después de los 80 ms, medidos sobre el cuadrado de la respuesta impulsiva del recinto. Este concepto está relacionado con el tiempo de integración del oído humano y tiempos de articulación de señales musicales [2].

$$C_{80} = \frac{\text{Energía hasta 80 ms}}{\text{Energía a partir de 80 ms}} \text{ (en dB)} \quad (5)$$

3.3.2.2 Claridad de la palabra hablada, C_{50}

Este descriptor objetivo, similar al C_{80} , se correlaciona con el grado de inteligibilidad de la palabra hablada. Su cálculo considera valores energéticos del sonido antes y después de 50 ms.

3.3.2.3 Definición, D_{50}

Otro descriptor utilizado para analizar la claridad de la palabra hablada. Se calcula a partir de la razón entre la energía que llega al oyente antes de los 50 ms (E_1) y la energía total que llega a este (E_2). Su valor se expresa en %, considerándose como valores óptimos aquellos mayores al 50%. Mientras mayor sea el D_{50} mayor será la inteligibilidad de la palabra [4].

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.05s} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} = \frac{E_1}{E_2} \quad (6)$$

3.3.3 Campo sonoro difuso

El concepto de sonido difuso indica que la energía del campo reverberante, para distintas frecuencias, llegará de igual manera desde todas las direcciones del espacio, generando un sonido envolvente y aumentando la valoración subjetiva del sonido. Generar un campo sonoro difuso resulta necesario, especialmente en recintos donde se ejecuta música. Esto último se dificulta especialmente en recintos pequeños y de geometría regular.

3.3.4 Defectos acústicos

Existen una gran cantidad de defectos del campo sonoro presente en un recinto, los cuales son

producidos principalmente por la geometría y los materiales de las salas, entre otros. A continuación se definen tres de ellos: eco, eco flotante y focalizaciones.

3.3.4.1 Eco

El eco se produce cuando una reflexión arriba al oyente con un retardo temporal superior al que el tiempo de integración del oído (50 ms para la palabra hablada y 80 ms para la música).

3.3.4.2 Eco flotante

Similar al eco, ocurre principalmente en pequeños recintos cuando arriban a un oyente múltiples reflexiones en un corto intervalo tiempo. Las superficies paralelas separadas por distancias cortas son sensibles de provocar eco flotante. Evitando este tipo de superficies se puede eliminar el eco flotante.

3.3.4.3 Focalizaciones

Se generan cuando en un punto del espacio aumenta notablemente el nivel de presión sonora. Este fenómeno ocurre cuando los rayos sonoros se reflejan y convergen en un punto particular. Las superficies cóncavas son susceptibles de producir focalizaciones.

4. ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO

4.1 Aislamiento

Es necesario diferenciar aislamiento y absorción sonora. La absorción sonora busca transformar la energía sonora en otras formas de energía, calórica o mecánica, mediante la utilización de materiales específicos.

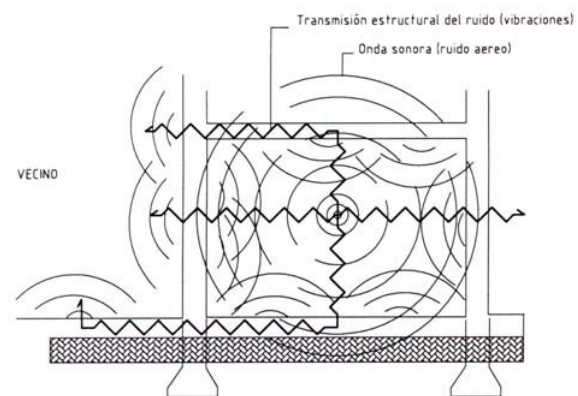


Figura 10: Formas de transmisión del sonido [6].

El aislamiento sonoro consiste en aislar un recinto de los ruidos molestos externos o bien evitar que los sonidos generados en su interior trasciendan al exterior.

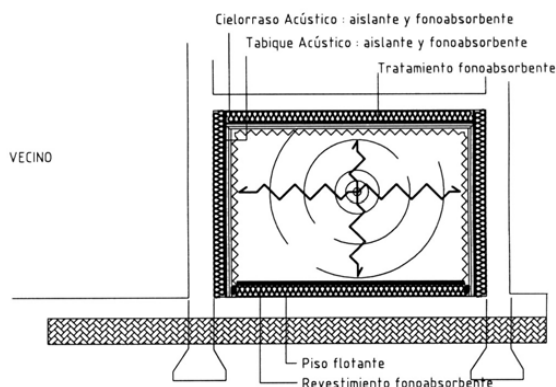


Figura 11: Aislamiento sonoro de un recinto [6].

4.2 Absortores.

Los absortores son dispositivos diseñados específicamente para absorber energía sonora. Se clasifican en 2 grupos. Los *resistivos poseen alta eficiencia* para absorber sonidos de alta frecuencia. Pueden construirse con materiales blandos y porosos, y transforman la energía sonora en calórica. Entre estos se destacan las espumas de poliuretano, lanas minerales, espumas de melaninas, telas, entre otros. Mientras que los *reactivos*, son utilizados para absorber sonidos de bajas frecuencias.

4.2.1 Absortores reactivos.

Existen varios métodos para construir estos absortores, y se pueden clasificar en:

- Absortores diafragmáticos.
- Trampas de bajas frecuencias o resonadores de volumen.
- Resonadores de Helmholtz.
- Absorbentes de panel perforado.

4.2.1.1 Absortor diafragmático.

El principio de funcionamiento de este dispositivo se caracteriza por la vibración que presenta el diafragma a excitaciones sonoras de determinada frecuencia. La frecuencia de resonancia se calcula a partir [4]:

$$f_0 = \frac{60}{\partial d} \quad (7)$$

donde ∂ es la densidad superficial del material en kg/m^2 y " d " la distancia entre la pared y el diafragma. Un caso particular es el absortor colocado sobre una esquina, al cual se lo denomina *esquinero*, el principio es similar al diafragmático, donde para obtener la frecuencia de resonancia se procede a tomar un promedio de la distancia a la pared para obtener el valor de d .

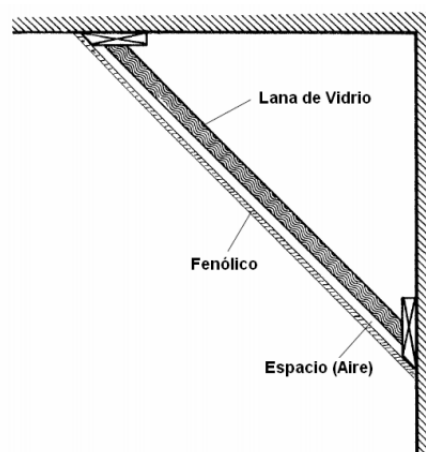


Figura 12: Absortor esquinero [4].

4.2.1.2 Trampas de bajas frecuencias ó resonadores de volumen.

La profundidad del absortor es equivalente a $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda que se desea atenuar. El inconveniente que presenta, es que a medida que disminuye la frecuencia la dimensión de la cavidad va aumentando.

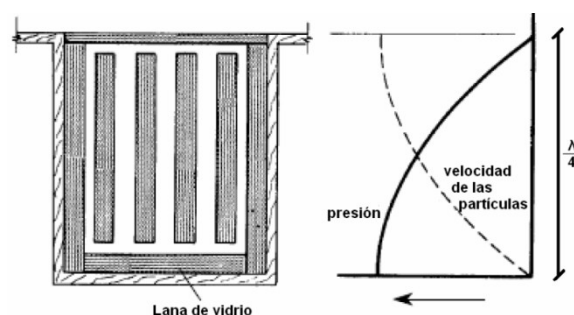


Figura 13: Trampas de bajas frecuencias [4].

4.2.1.3 Resonadores de Helmholtz.

Consiste en un orificio y una cavidad, con la cuales se puede operar a distintos valores de frecuencia. Se suelen colocar materiales fonoabsorbentes dentro de la cavidad para obtener un mejor ancho de banda. Este resonador se rige por la siguiente fórmula:

$$f_0 = 54,14 \sqrt{\frac{S}{Vl}} \quad (9)$$

donde:

- S : Es la sección del cuello del tubo en m^2 .
- V : Es el volumen de la cavidad en m^3
- l : Corresponde al largo del cuello en m.

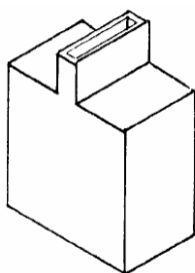


Figura 14: Resonador Helmholtz [4].

4.2.1.4 Absortores de panel perforado

Se compone por un arreglo de resonadores Helmholtz en paralelo, los cuales actúan sobre sonidos que inciden perpendicularmente. La determinación de la frecuencia de resonancia de este absolvedor está dada por:

$$f_0 = 200 \sqrt{\frac{p}{dt}} \quad (10)$$

donde:

$$p = \frac{\% \text{ del área de perforación}}{\% \text{ del área del panel}} \cdot 100\% \quad (11)$$

d : es la distancia a la pared rígida en pulgadas.

t : es el largo efectivo en pulgadas.

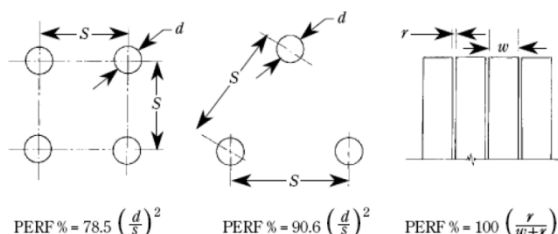


Figura 15: Formulas para el cálculo de porcentajes de perforación [4].

4.3 Difusores

Cuando es necesario generar un campo sonoro difuso, la geometría del recinto empieza a jugar un papel fundamental. Por ejemplo, se puede lograr una focalización con superficies cóncavas o una difusión con superficies convexas.

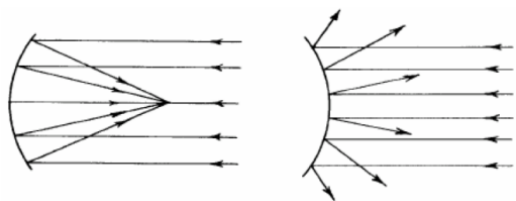


Figura 16: Focalización vs difusión [4].

Se puede trabajar en las formas de las paredes y techos, con la ayuda de la acústica geométrica, modelo de rayos, se logra una correcta difusión del sonido.

5. CRITERIOS DE DISEÑO DE SALAS DE ENSAYO DE MÚSICA FOLKLORICA ARGENTINA

5.1 Ruido de fondo

Lo primero a tener en cuenta en el diseño de una sala de ensayos, es que el ruido de fondo de la misma no afecte la correcta ejecución de la música. Para ello es de particular importancia elegir correctamente la ubicación de la sala y tomar las medidas de aislamiento necesarias para que cualquier fuente sonora externa no afecte el sonido de los instrumentos.

La familia de curvas NC puede utilizarse como criterio para la evaluación del ruido de fondo. Al momento de diseñar salas de ensayo debe considerarse que el ruido de fondo afecta de forma sensible la práctica musical. Así se usa el perfil de ruido NC-20, se obtendrá un nivel global de 28 dB de ruido de fondo.

5.2 Dimensiones de la sala

Al momento de elegir las dimensiones de la sala, hay dos aspectos básicos a tener en cuenta. En virtud de las formulas anteriores el primero indica que una sala cuyo volumen es menor a 47 m³ produce distorsiones en el sonido que complican su correcta interpretación. El segundo, y más importante, es que según se seleccionen las dimensiones del recinto los modos propios se distribuirán de manera uniforme ó no uniforme en el espectro de frecuencias. Para elegir correctamente las dimensiones, considerando un volumen de por lo menos 50 m³, puede utilizarse el gráfico de la Figura 7. Así, por ejemplo, una sala de 6 m de largo, 4,2 m de ancho y 2,75 m de altura, genera un volumen de 69,3 m³ y una distribución uniforme de los modos normales.

5.3 Modos propios de vibración

Los modos propios de vibración de un recinto se calculan, para un recinto rectangular, con la fórmula de Rayleigh. Para tal fin, puede usarse una calculadora de modos (Room Modes Calculator) [4], que según la ecuación de Rayleigh, calcula los modos axiales (son los de mayor energía), tangenciales y oblicuos, y entrega una planilla de Excel con los datos obtenidos. Así, utilizando como ejemplo las medidas consideradas en el punto anterior, y aplicando la formula de Rayleigh, ecuación (1), se obtienen las siguientes frecuencias de resonancia para los modos axiales:

Frecuencia [Hz]	Modo propio de vibración (k, m, n)
28,7	1 0 0
41,0	0 1 0
57,4	2 0 0
62,6	0 0 1

82,0	0 2 0
86,1	3 0 0
114,8	4 0 0
123,0	0 3 0
125,2	0 0 2
143,5	5 0 0
164,0	0 4 0
172,2	6 0 0
187,9	0 0 3

Tabla 1: Frecuencias de resonancia para los modos propios axiales.

En la Tabla 1 se observa que la distribución de frecuencias de los modos propios axiales es suficientemente uniforme, sin solapamientos, lo cual no producirá coloraciones espectrales.

Si en la distribución de modos propios aparecieran múltiples frecuencias agrupadas, se deberán colocar absorbedores de baja frecuencia para compensar la respuesta en frecuencia. Materiales como madera y placas de roca yeso perforadas, son frecuentemente utilizadas para la construcción de resonadores tipo Helmholtz.

5.4 Parámetros acústicos

En la Tabla 2, se presentan valores, obtenidos mediante las formulas anteriormente presentadas, de referencia para el diseño de salas de ensayo de música folklórica argentina para los parámetros acústicos T , BR, Br y C_{80} . La confesión de la Tabla 2.

Parámetro acústico	Valores
T	0,6 – 1 [s]
BR	0,8 – 1 [s]
Br	0,6 – 1 [s]
C_{80}	4 – 0 [dB]

Tabla 2: Valores óptimos para salas de ensayo de música folklórica argentina.

Con el fin de aproximar los valores de dichos parámetros, a los establecidos en la Tabla 2, pueden realizarse las siguientes tareas:

- Instalar cortinados para controlar T y Br dentro de un pequeño rango de tiempo.
- Instalar absorbentes selectivos contruidos con placas de roca y yeso perforado combinadas con materiales porosos como lana de roca ó lana de vidrio.
- Si se requiere absorción de bajas frecuencias, pueden utilizarse trampas de graves también conformadas con placas yeso, en forma de esquineros o absorbentes diafragmáticos.
- Instalar revestimientos de paredes y cielorrasos con absorbentes tipo resistivos como las espumas, fieltros ó materiales microporados.

Las reflexiones en el piso y en el techo son las que suelen provocar problemas de focalizaciones. Con el fin de evitar estos problemas se recomienda que el piso sea de madera o en su defecto este cubierto por una alfombra. En el techo puede instalarse absorbentes de gran ancho de banda o banda angosta (selectivos). También puede emplearse la superficie del techo para instalar difusores acústicos.

5.5 Difusión

La generación de un campo difuso, como se menciona anteriormente, es necesaria para una óptima apreciación del sonido producido por diferentes instrumentos musicales. Si bien, esto se dificulta en recintos de pequeño volumen, existen un conjunto de consideraciones básicas de diseño a tener en cuenta:

- Deben evitarse las superficies cóncavas. A su vez la presencia de superficies convexas genera la difusión del sonido en determinados anchos de banda. De esta forma si se colocan superficies convexas o casquetes cilindricos de diferentes diámetros se ayuda a la difusión del campo sonoro.
- A fin de evitar el eco flotante, sobre las paredes se pueden colocar superficies planas (reflectores sonoros selectivos) que vayan cambiando de ángulo en forma de diente de sierra, Figura 17, para no generar paralelismo con la pared del frente. Lo mismo puede realizarse en el techo para evitar focalizaciones.

En las Figuras 17, 18 y 19, se muestra un ejemplo de un techo con una geometría diseñada para evitar focalizaciones y generar una distribución homogénea de las primeras reflexiones, favoreciendo el campo difuso.

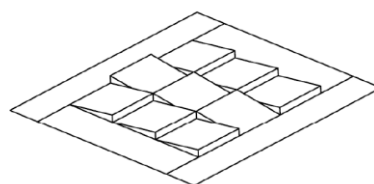


Figura 17: Esquema tridimensional del techo [3].

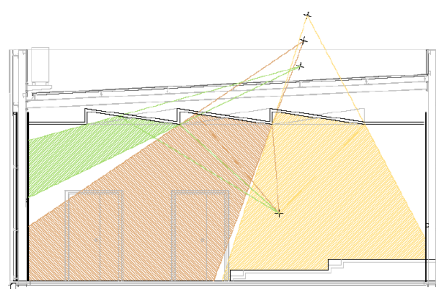


Figura 18: Estudio acústico – geometría del techo (Sección 1) [3].

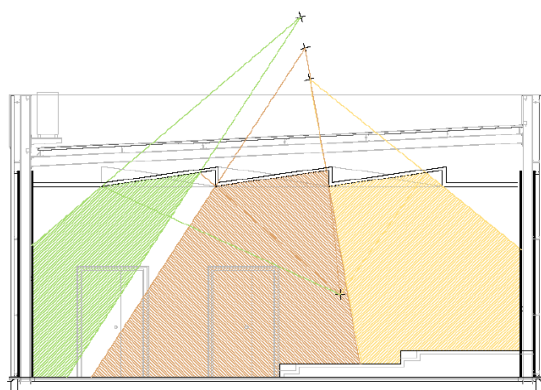


Figura 19: Estudio acústico – geometría del techo (Sección 2) [3].

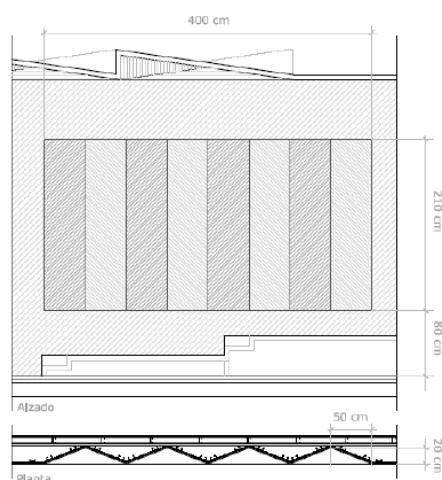


Figura 20: Alzado y sección en planta de difusores [3].

5.6 Ubicación de los instrumentos

Un aspecto a tener en cuenta para la ubicación de los instrumentos es que no se encuentren en puntos donde una determinada frecuencia, a causa de los modos propios de la sala, se cancele. Este es otro motivo por el cual, es relevante determinar con detalles todos los modos de la sala para poder identificar estos puntos.

6. CONCLUSIONES

Dadas las variadas posibilidades de ensayo de música folklórica argentina, ya sea por la conformación de instrumentos como por la cantidad misma de integrantes, es conveniente abordar soluciones acústicas que puedan ser modificadas (acústica variable de recintos).

En este trabajo, se evidencia que no es complejo seleccionar las dimensiones que favorezcan en la distribución de modos propios de vibración.

Los telones y las placas yeso pueden ser de gran utilidad a fin de adaptar los parámetros acústicos que le dan calidad al sonido.

En cuanto a la generación de un campo sonoro difuso las medidas a tomar son generalmente de orden geométrico, permitiendo una gran variedad de soluciones de simple ejecución.

El eco flotante y las focalizaciones son defectos que se deben evitar. Por suerte existen soluciones rápidas y simples que nos ayudan a eliminarlos de la sala.

Los absorbentes propuestos para bajas frecuencias son estáticos pero se podrán complementar con otros tipo diafragmáticos colocados en los muros.

Por último, al momento de generar las condiciones de claridad, calidez y brillo, las acciones que se pueden implementar son muchas y variadas, dando al diseñador opciones sencillas para obtener un campo sonoro adecuado para las características de cada estilo musical.

7. REFERENCIAS

- [1] Miyara Federico, “*Acústica y Sistemas de Sonido*”. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario 1999.
- [2] Carrión Isbert Antoni, “*Diseño acústico de espacios arquitectónicos*”. Edicions UPC. Bracelona, España. 1998.
- [3] Gimenez Alicia, Barba Arturo, Segura Jaume, Cerdá Salvador, Lacatis Radu, Romero José, “*Proyecto acústico de una sala de ensayo para música de pequeñas dimensiones en la Universidad Politécnica de Valencia*”. Acústica 2008. Universidad de Coimbra. Coimbra, Portugal. Octubre 2008.
- [4] San Martín Juan Eugenio, “*Acústica arquitectónica para salas de grabación*”. Seminario de acústica arquitectónica para salas de grabación.
- [5] Calculadora de modos normales de resonancia. <http://www.bobgolds.com/Mode/RoomModes.htm>
- [6] Alan R. Bahamonde “*Acondicionamiento acústico de un recinto para sala de ensayos – Absorción y Aislación acústica*”.

8. DATOS BIOGRÁFICOS

Álvarez Pérez Guaita Juan Manuel, nacido en Córdoba el 22/01/1984. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Actualmente trabaja en E.P.E.C. “Empresa Provincial de Energía de Córdoba” control de transformadores de distribución y transmisión en la provincia de Córdoba. E-mail: juanmalvarez@live.com.ar

Pérez Alejandro Sebastián, nacido en Córdoba el 9/05/1983. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Actualmente trabaja en Seltron SRL. Sus áreas de interés la grabación musical, la post-producción y masterización, así como la programación a bajo nivel. E-mail: coconoway@gmail.com

Ravotti Nicolás, Nacido en General Cabrera, Córdoba el 15/09/1987. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus áreas de interés son la electroacústica y los sistemas digitales. E-mail: nicolas.ravotti@hotmail.com