

3.2

REQUISITOS ACÚSTICOS PARA SALAS DESTINADAS A REPRODUCCIÓN DE VOZ Y MÚSICA

Ivana Rossell Turull

Directora del Máster de Acústica Arquitectónica y Medioambiental
Gerente de Ivana Rossell - Acústica
ivana@salle.url.edu / acustica@ivanarossell.com



RECOMENDACIÓN PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA SALA DE VOZ

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

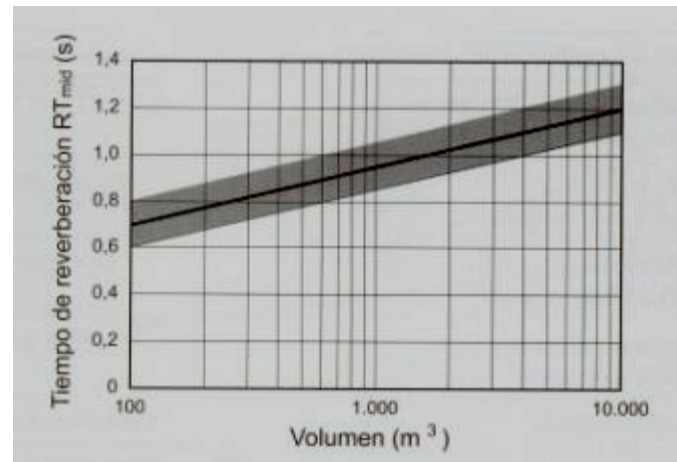
El tiempo recomendado para frecuencias de 500 Hz y 1KHz puede hallarse, en función del volumen, con las siguientes expresiones (de H. Arau): :

$$T_{MIDopMax} = 0.368 \cdot V^{0.1505}$$

$$T_{MIDopMin} = 0.264 \cdot V^{0.1394}$$

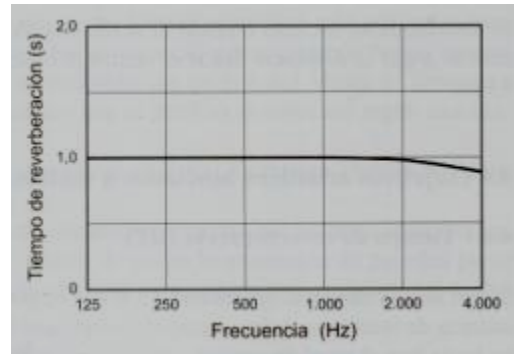
(El T_{mid} puede ser el también la media aritmética entre el TR a 500 y 1KHz.)

También se puede utilizar la la siguiente gráfica de recomendación



TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Curva tonal recomendada lo más uniforme posible:



-Los valores de Tiempo de reverberación deben ser lo más constantes posible, deben intentar variar lo mínimo en función del % de ocupación de la sala, de la escenografía, y de otros parámetros no fijos.

Recomendaciones de brillo y calidez:

$$0.9 \leq BR \leq 1.2$$

$$0.8 \leq Br \leq 1$$

DEFINICIÓN (D_{50}):

La Definición es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50ms desde la llegada del sonido directo y la energía recibida total. Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4KHz (y para sala ocupada):

$$D_{50} = \frac{\int_{0ms}^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

Cuanto más elevada es la definición más elevada es la inteligibilidad de la palabra.

Se toma, como valor correcto, un resultado de definición superior o igual a 0.65.

El valor mínimo exigido es de 0.5.

Muchas veces este dato se expresa en %.

CLARIDAD DE LA VOZ (C_{50}):

Se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía que llega tras los primeros 50 ms.

Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz, y se expresa en escala logarítmica (dB).

Habitualmente se calcula un valor global representativo, como la media aritmética ponderada de los valores correspondientes a las bandas de 500Hz, 1kHz, 2kHz y 4kHz.

$$\begin{aligned} C_{50} \text{ ("speech average")} &= 0.15 C_{50} (500\text{Hz}) + 0.25 C_{50} (1\text{kHz}) \\ &+ 0.35 C_{50} (2\text{kHz}) + 0.25 C_{50} (4\text{kHz}) \end{aligned}$$

El valor recomendado para teatros, correspondiente a cada punto de la sala ocupada debe verificar:

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \qquad C_{50} \text{ ("speech average")} > 2 \text{ dB}$$

INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

Los parámetros más usados son STI/RASTI y %ALCons

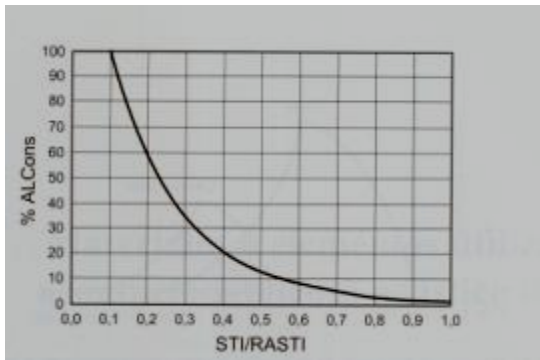
Se recomienda que la inteligibilidad en cualquier punto de la sala (ocupada) sea como mínimo calificada de “buena”,

$$\%ALCons \leq 5\%$$

Debe cumplirse:

$$STI / RASTI \geq 0.65$$

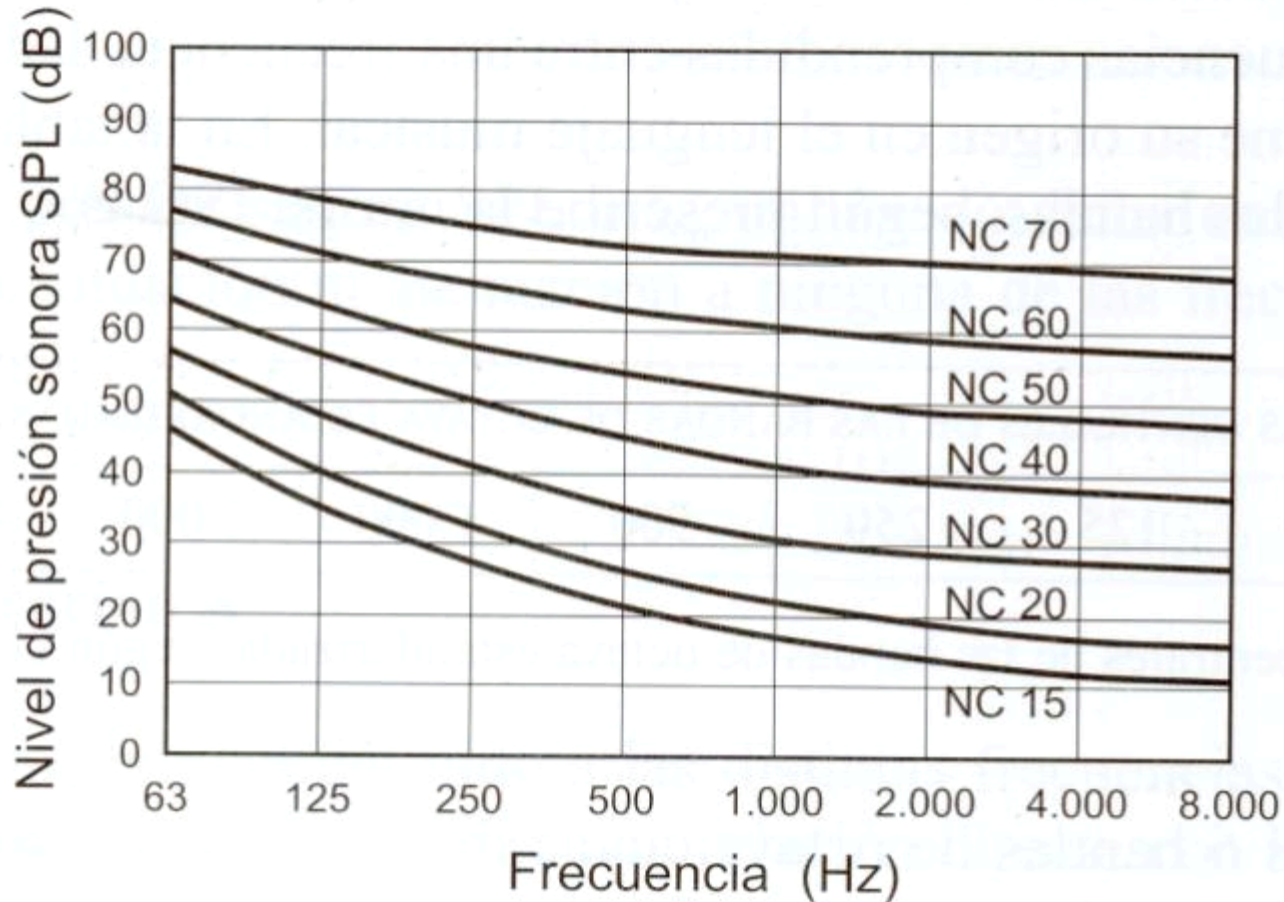
La equivalencia de STI-%ALCons podemos encontrarla con la gráfica y la tabla siguiente:



%ALCons	STI/RASTI	Valoración Subjetiva
1.4%-0%	0.88-1	Excelente
4.8%-1.6%	0.66-0.86	Buena
11.4%-5.3%	0.5-0.64	Aceptable
27%-12%	0.36-0.49	Pobre
46.5%-27%	0.24-0.34	Mala

RUIDO DE FONDO

(Se debe verificar por bandas de octava desde 63Hz hasta 8KHz)



RUIDO DE FONDO

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

SONORIDAD

Indica la fuerza de la sala, la amplificación que produce sobre la señal de voz.

Se definirá con referencia a una fuente que da un nivel, promediado en el espacio, en campo libre y a 10 metros de 39 dB.

Se da el valor medio de las bandas de 500Hz, 1KHz y 2KHz.

Se recomienda que todos los puntos de la sala verifiquen que $S_{mid} \geq 0dB$

Pero una sonoridad óptima estará entre los valores:

$$4 \leq S_{mid} \leq 8dB \quad \text{para orientación frontal del orador}$$

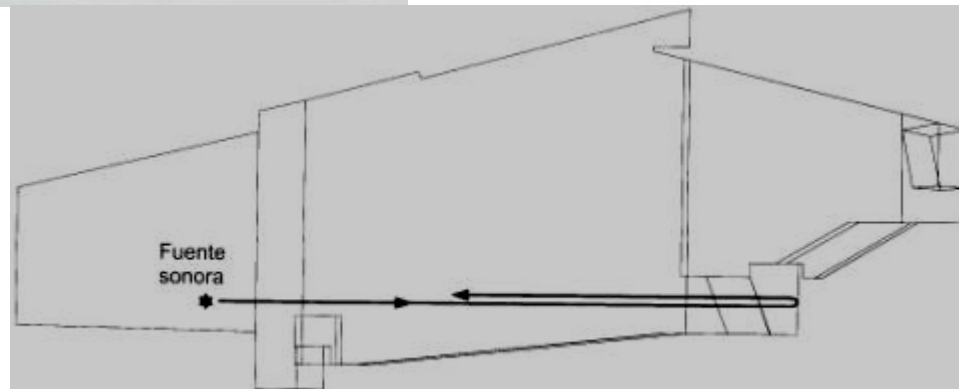
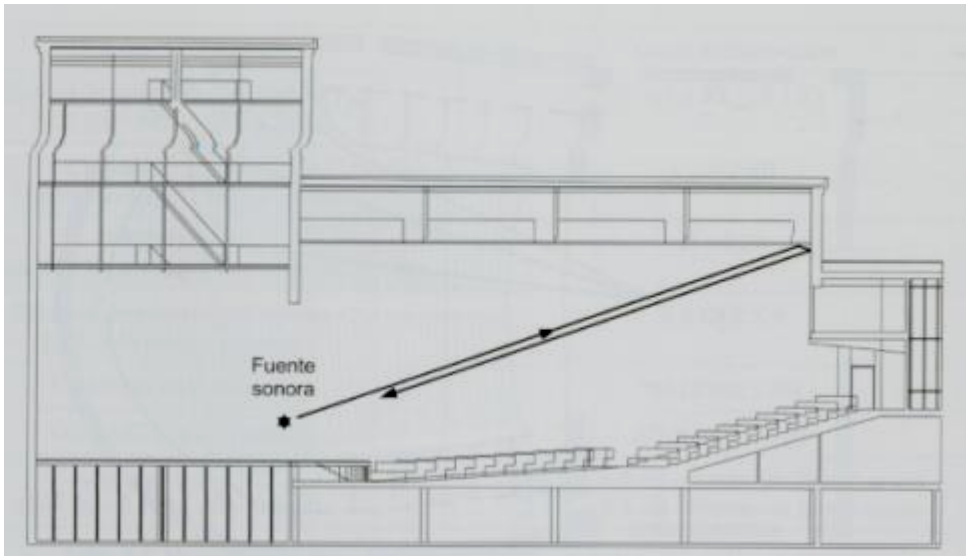
$$2 \leq S_{mid} \leq 6dB \quad \text{para orientación lateral}$$

PROBLEMAS ACÚSTICOS ASOCIADOS A TEATROS

1-Coloración de la voz y falsa localización de la fuente sonora:

Sobre todo las superficies destinadas a dirigir correctamente las primeras reflexiones, situadas en las paredes laterales o el techo, pueden producir coloraciones en la respuesta en frecuencia de la sala (sonido metálico) y provocar una sensación de falsa localización de la fuente sonora.

2-Ecos: Situaciones típicas que pueden producir ecos:



3.Focalizaciones de sonidos:

Las formas cóncavas llevan generalmente a la creación de focalizaciones de energía acústica en puntos concretos de la sala.

Este efecto suele producirse debido a las típicas formas abovedadas de los techos o las paredes laterales de salas de planta de lira o abanico.

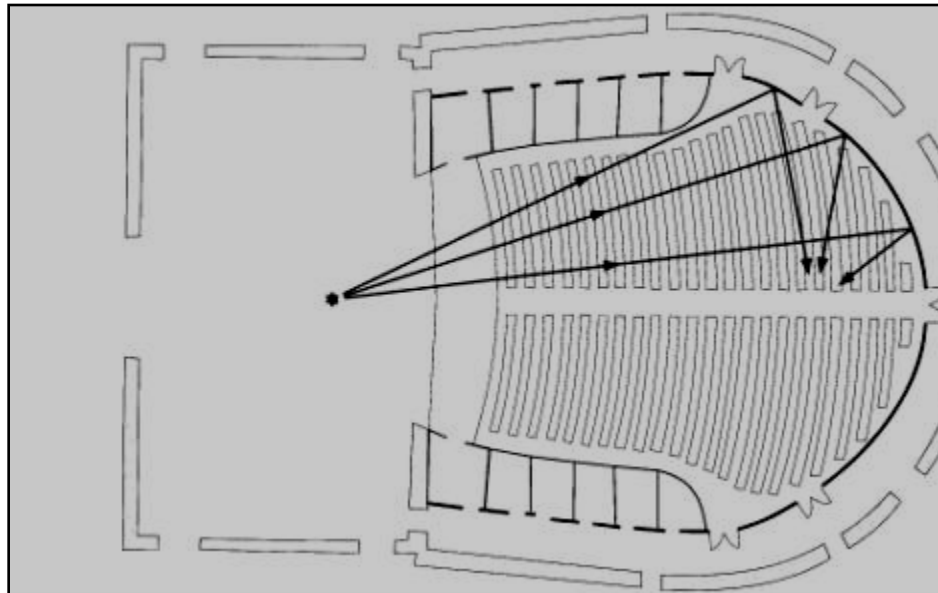


TABLA RESUMEN PARÁMETROS VOZ

Parámetro Acústico	Recomendación
Tiempo de Reverberación (MID)	Segun Volumen (ver fórmulas)
Índice de Brillo	$0.8 \leq Br \leq 1$
Índice de Calidez	$0.9 \leq BR \leq 1.2$
Claridad de la Voz	C50 ("speech average") > 2 dB
Índice de Definición	$0.5 \leq D_{50}(\text{recomen_}0.65)$
%AICons / STI	Mín 5% / 0.65
Ruido de Fondo	NC 15-25

CRITERIOS DE DISEÑO SALAS VOZ

1- Dimensionado

Relación Capacidad-Volumen

(equivale a tener de 4 a 6 m³ por persona)

$$4 \leq \frac{V}{N} \leq 6$$

Las condiciones acústicas óptimas para teatros de prosenio llevan a dimensiones que llevan a unas 1500 localidades. El TR_{mid} suele ser de 1.1 o 1.2 segundos.

Para teatros más pequeños (500 localidades) el Tr_{mid} adopta un valor cercano a 1 segundo.

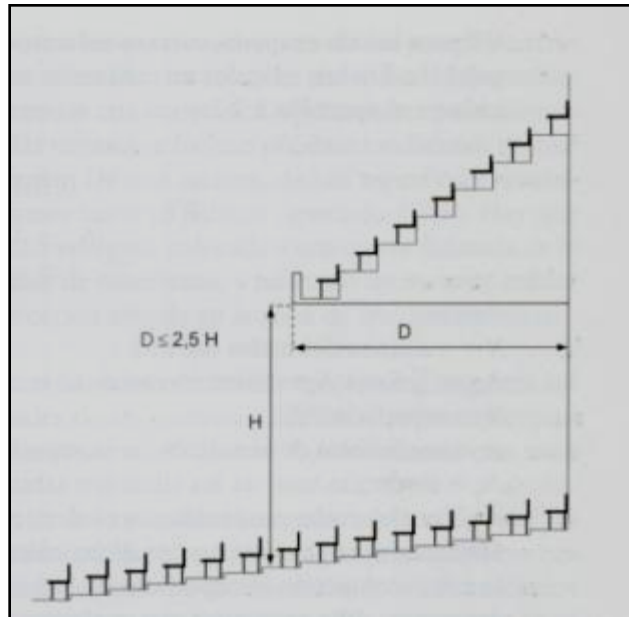
2-Anfiteatros o balcones:

Debe tenerse en cuenta la altura de la boca del balcón y su profundidad.

El balcón o anfiteatro crea una zona de reverberación más reducida, esto es bueno para la inteligibilidad, en teatros no crea casos críticos, y puede presentar problemas en las salas de conciertos.

Recomendaciones:

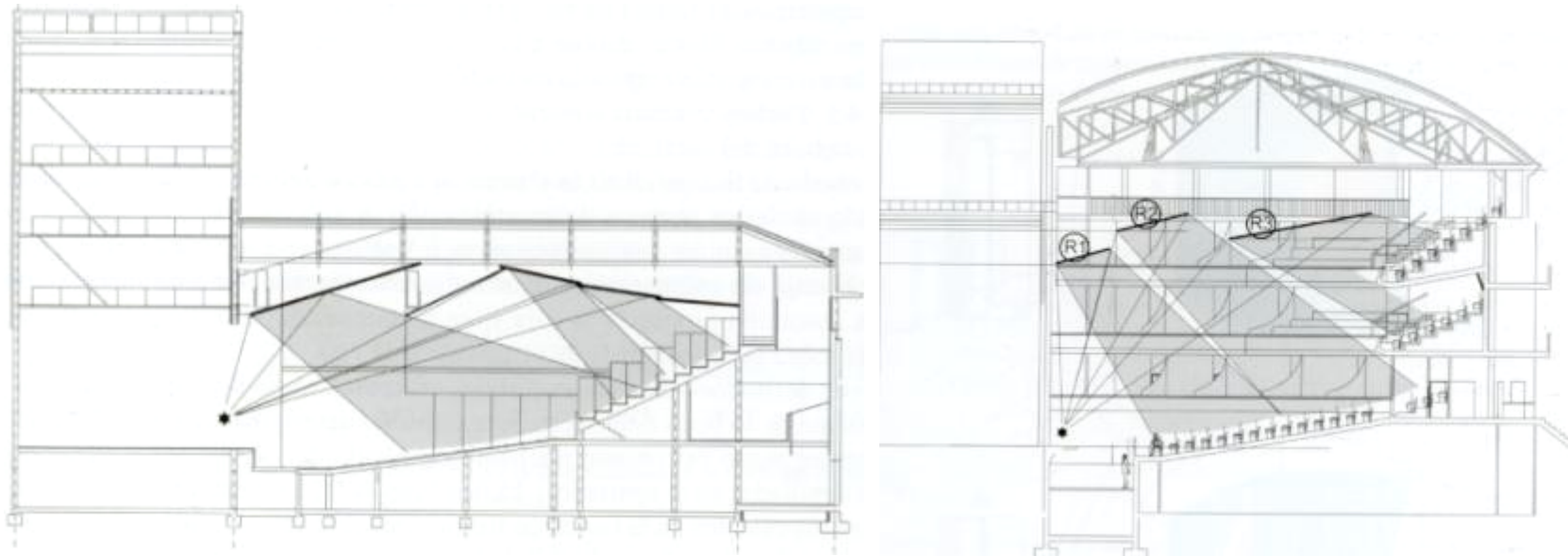
Profundidad < $2,5 \cdot \text{altura}$



3- Criterios para el direccionamiento de las primeras reflexiones:

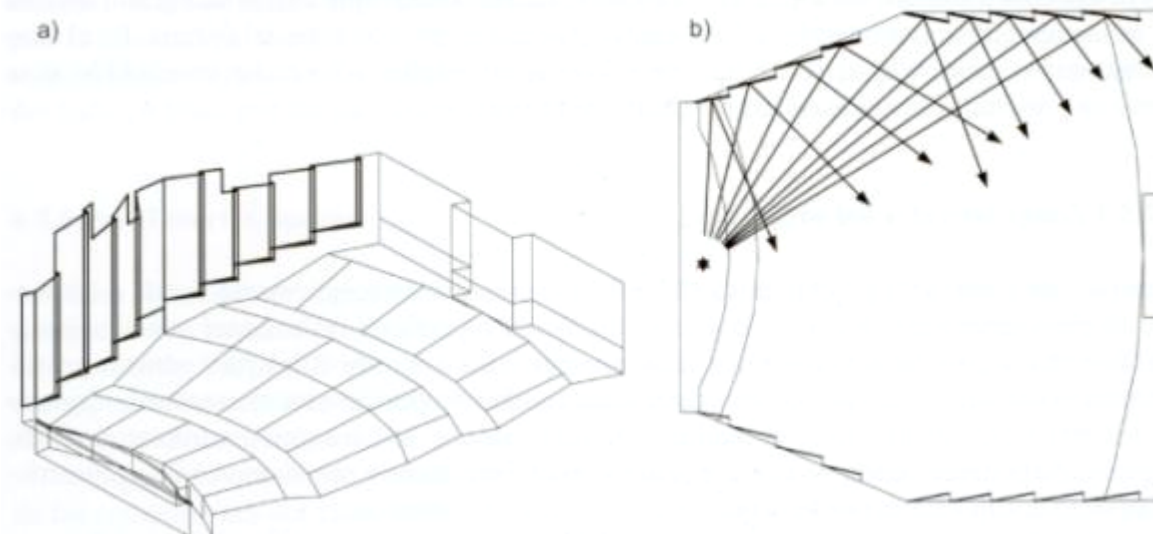
Techo de la sala:

Deben generarse el máximo número de reflexiones en la zona posterior del recinto (donde el sonido directo es más débil).



-Paredes laterales:

Pueden aprovecharse para dar reflexiones laterales, aunque en el caso de los teatros no es tan imprescindible. Para música, esta sensación de espacialidad dada por las reflexiones laterales es muy importante.



4-Distancia máxima recomendada:

La distancia máxima recomendada dependerá del ángulo entre el orador-actor y el receptor.

Para posiciones en el eje frontal, la distancia máxima puede variar entre 20 y 45m en función de la energía que llega al receptor procedente de las primeras reflexiones.

Para posiciones menos favorecidas, laterales o casi-posteriores, las distancias se reducen, con máximos de 20 o 30 metros, en casos de tener una relación energética buena.

REQUISITOS ACÚSTICOS PARA SALAS DESTINADAS A REPRODUCCIÓN DE MÚSICA

INTRODUCCIÓN

El diseño acústico de salas destinadas a reproducción musical destaca por su complejidad y por la espectacularidad de los buenos resultados.

En los últimos años se ha desarrollado un lenguaje común para valorar objetivamente la calidad acústica de una sala.

Estas métricas intentan reflejar la respuesta de la sala reforzando las valoraciones subjetivas de músicos, técnicos y críticos musicales.

Los propios parámetros y sus márgenes recomendados se han ido adaptando (de forma empírica) a los requerimientos subjetivos para el uso de cada sala.

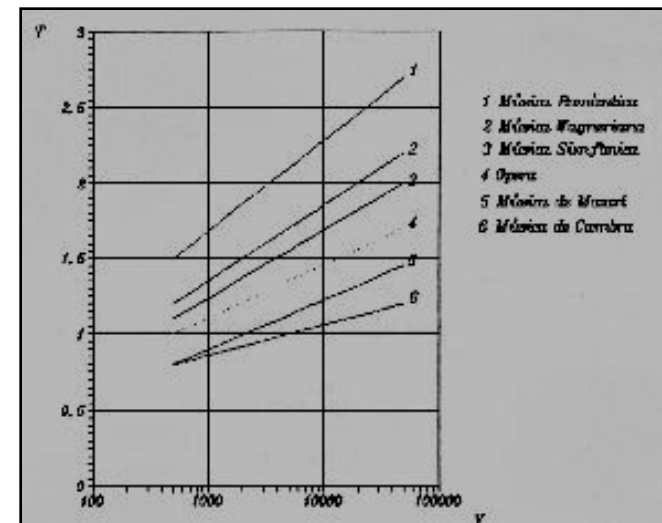
De todas formas, el “toque mágico final” no es casi nunca medible, ni predecible, se encuentra en algunas salas, nuevas y antiguas y no siempre en las que presentan mejor rango de parámetros objetivos.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN:

Para volúmenes, por ejemplo, entre 10.000 m³ y 30.000 m³, el TR_{mid} para música sinfónica suele estar comprendido entre: $1.8 \leq TR_{mid} \leq 2 \text{ seg}$

Según el tipo de música los requisitos de tiempo de reverberación variarán:

Música	TR_{mid}
Música sinfónica	1.8-2.0 seg.
Música Barroca y clásica	1.6-1.8 seg.
Música de cámara	1.3-1.7 seg.
Ópera	1.2-1.5 seg.



Otras recomendaciones DE tr las podemos encontrar en las expresiones siguientes (de H. Arau):

Tiempos para concierto:
(sinfónica)

$$T_{MIDopMax} = 0.6 \cdot V^{0.1325}$$

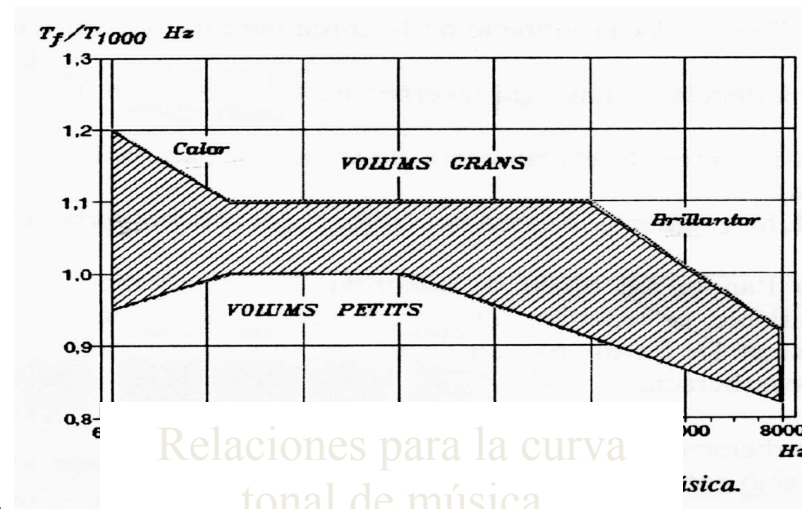
$$T_{MIDopMin} = 0.4245 \cdot V^{0.1331}$$

Tiempos para ópera:

$$T_{MIDopMax} = 0.509 \cdot V^{0.1335}$$

$$T_{MIDopMin} = 0.396 \cdot V^{0.1273}$$

Curva tonal:



Índices de brillo y calidez:

$$1.1 < I_{\text{calidez}} < 1.3$$

$$0.8 < I_{\text{brillo}} < 1$$

(es preferible que $Br > 0.87$)

Tiempo de reverberación inmediato: (EDT)

Para el caso de música es recomendable que el EDT sea prácticamente igual al TR60.

Para salas destinadas a reproducción de voz se recomiendan EDTs ligeramente inferiores a los TR60s. (para asegurar una buena inteligibilidad y buen índice de definición (D_{50}))

SONORIDAD (G) (Strength factor)

Es la diferencia del nivel de presión sonora producido por una fuente omnidireccional en campo libre a 10m y el nivel producido por la misma fuente dentro de la sala.

Se mide desde 125Hz hasta 4KHz.

El nivel de referencia es de 69 dB_{SPL}.

La recomendación es de :

$$4 \leq G_{mid} \leq 5.5dB$$

INTIMIDAD ACÚSTICA (ITDG)

El tiempo de retardo inicial (Initial Time Delay Gap) se relaciona con el concepto subjetivo de intimidad acústica (sensación que tiene el oyente de escuchar la música en un espacio de dimensiones menores a las reales)

También se utiliza este término cuando se habla del grado de conexión entre el oyente y los músicos.

Tiene que ver con el retardo inicial con que llega la primera reflexión respecto la llegada del sonido directo.

Se recomienda un valor de unos 20 ms.

Valores superiores a 40 ms se consideran no aceptables.

CLARIDAD MUSICAL C_{80} :

Nos dará información de la energía que llega en los primeros 80 ms respecto la posterior a este tiempo.

$$C_{80} = \frac{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt}$$

El valor recomendado varía según el autor pero puede tomarse el margen válida, para música sinfónica de :

$$-2dB \leq C_{80} \leq 2dB$$

Sala ocupada

$$-4dB \leq C_{80} \leq 0dB$$

Sala vacía

Algunos autores aceptan valores de hasta +4dB.

La claridad musical depende de la reverberación de la sala, del patrón de reflexiones que llega al receptor, y de la interpretación y calidad de los músicos.

EFICIENCIA LATERAL (LF o EL):

LF (Lateral energy Fraction) se define como la relación entre la energía que llega lateralmente al oyente dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo (se excluye el sonido directo) y la energía recibida en todas las direcciones en dicho intervalo de tiempo:

$$LF = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}$$

Habitualmente se utiliza el valor obtenido como promedio de los valores correspondientes a las bandas de octava desde 125Hz a 1kHz:

$$LF4 = \frac{1}{4} \times (LF (125Hz) + LF (250Hz) + LF (500Hz) + LF (1kHz))$$

El valor recomendado para salas de concierto, con sala vacía a de cumplir:

$$LF4 \geq 0.19$$

En general cuanto más elevado sea el valor de LF, mayor grado de especialidad del sonido.

SOPORTE OBJETIVO (ST1):

Este parámetro representa la capacidad de los músicos de escucharse a sí mismos y al resto de la orquesta.

Se representa en escala logarítmica (dB). Y el valor global conocido como ST1mid se corresponde a la ponderación de las bandas de octava desde 250Hz a 2kHz.

$$\text{ST1mid} = \frac{1}{4} \times (\text{ST1 (250Hz)} + \text{ST1 (500Hz)} + \text{ST1 (1kHz)} + \text{ST1 (2kHz)})$$

Se recomienda como valores mas favorables de este parámetro, aquellos que cumplen:

$$\text{ST1} = 10 \log \frac{\int_{0.02}^{0.1} p^2(t) dt}{\int_0 p^2(t) dt} \quad -14 \leq \text{ST1MID} \leq -12.5 \text{ dB}$$

TABLA RESUMEN MÚSICA (auditorio sinfónica)

Parámetro Acústico	Recomendación
TR60 _{MID} (concierto)	Según uso y volumen
Índice de calidez	$1.1 < BR < 1.3$
Índice de brillo	$0.87 < Br < 1$
EDT	$EDT \approx TR60$
Sonoridad (G_{mid})	$4 < G_{mid} < 5.5 \text{ dB}$
ITDG (ms)	$ITDG \leq 20 \text{ ms}$
Claridad Musical (C_{80})	$-2 \text{ dB} \leq C_{80} \leq 2 \text{ dB}$
Correlación Cruzada Interaural	$(1 - IACC) \approx 0.7$
Eficiencia Lateral (LF)	$LFE4 \geq 0.19$
Criterio de Ecos (EC)	$EC < 1.80$
Soporte Objetivo (ST1)	$-14 \leq ST1_{MID} \leq -12.5 \text{ dB}$
Índice de difusión	$SDI \rightarrow 1$

CRITERIOS DE DISEÑO

1- Dimensionado

La mayoría de las salas de concierto tienen un volumen alrededor de los 20.000m³ y una capacidad media de unas 2300 localidades.

La relación superficie ocupada por las sillas por asiento, $\frac{s_s}{N}$

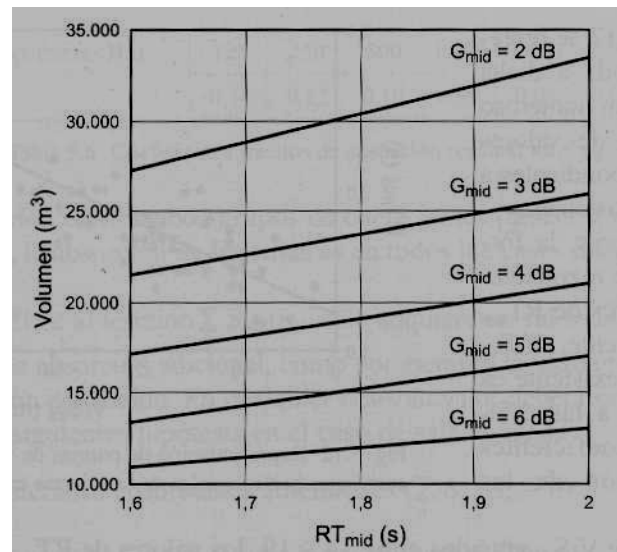
Se recomienda está comprendida entre los márgenes: $0.45 \leq \frac{s_s}{N} \leq 0.79$

La relación Volumen sala- capacidad sala toma como valor recomendado el ratio de 10 (10 m³ por persona)

$$\frac{V}{N} \approx 10$$

2- Elección del volumen deseado:

Otra pauta que puede seguirse se presenta en la siguiente gráfica, fijando un valor de TR60 recomendado y una sonoridad escogida:

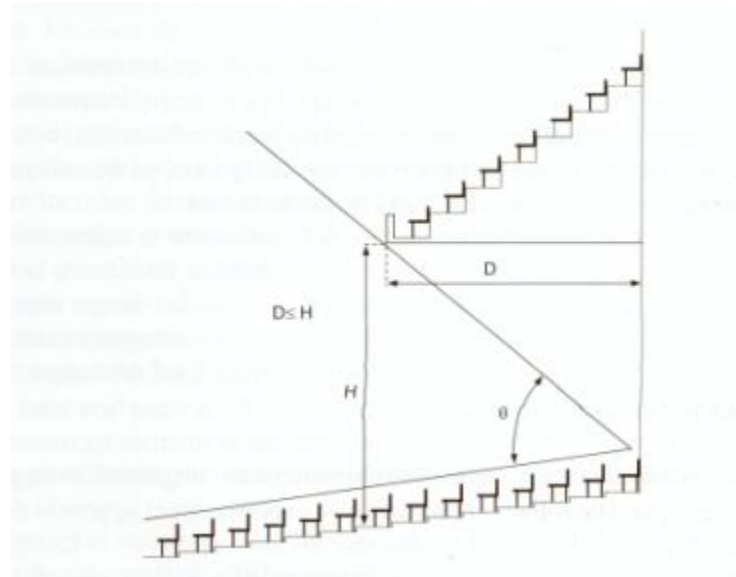


3 -Anfiteatros y balcones:

Para salas de conciertos, los balcones no pueden ser muy profundos, porque reducirían la reverberación al público situado en el fondo de éste.

La recomendación puede apreciarse en la gráfica siguiente:

Profundidad < altura
(D < H)

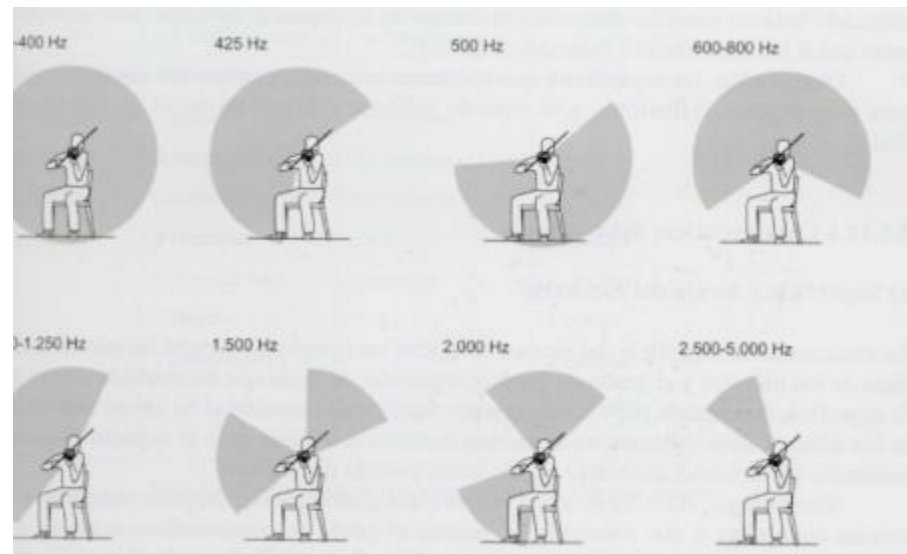


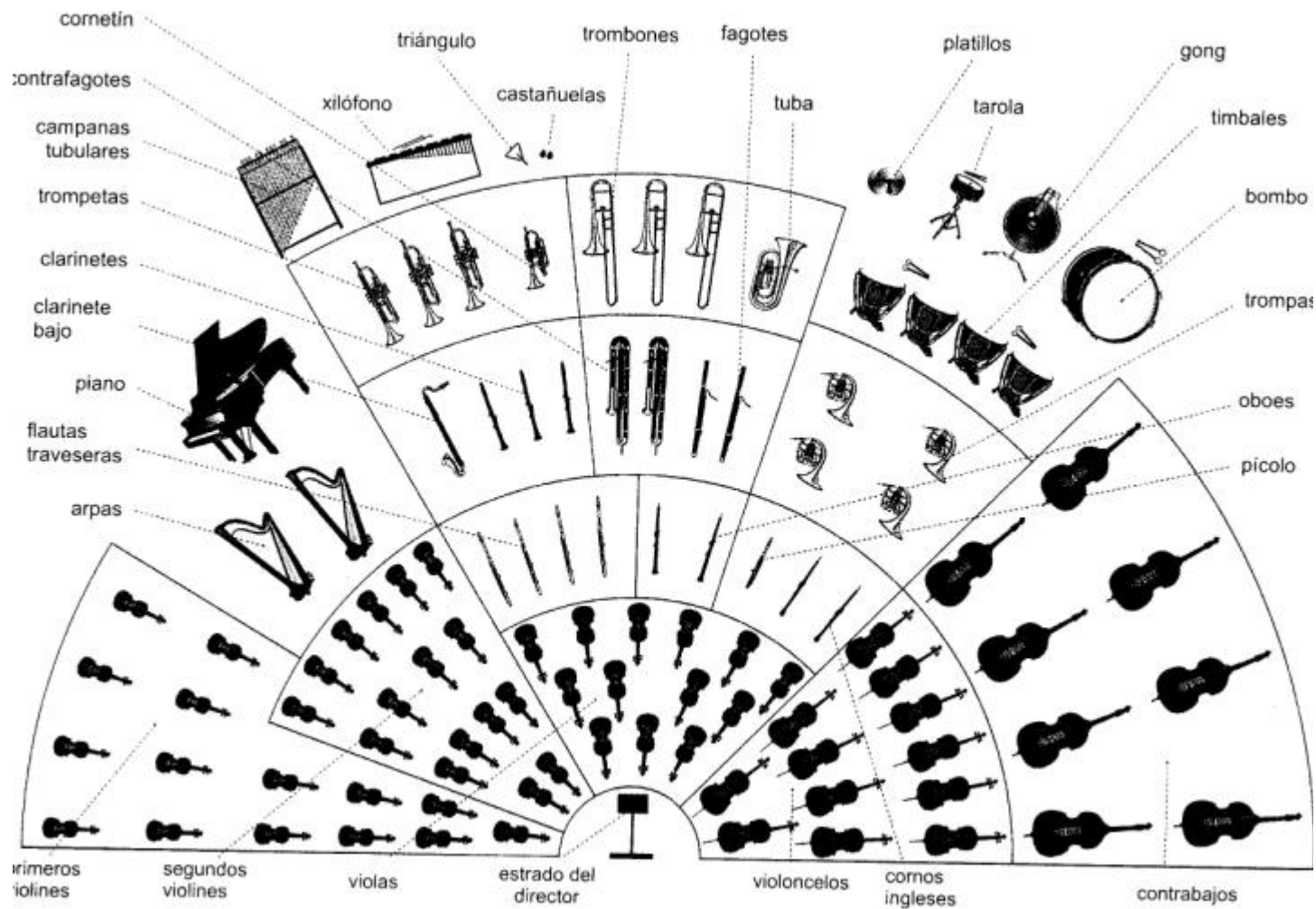
4- Diseño del escenario:

Para una orquesta de 100 músicos se requiere, aproximadamente, un área de 150 m². (Según Beranek de unos 190m² (teniendo espacio para solistas...))

Para el coro, algunos autores proponen unos 0.5m² por persona.

A grandes rasgos, y en términos generales, se recomienda, para una orquesta sinfónica en disposición rectangular, una anchura de unos 17 m y una Profundidad de 11m.





Paredes del escenario:

Deben diseñarse para que aporten energía a los propios músicos, buscando la correcta inclinación.

El diseño del escenario es crucial para una buena conjunción, equilibrio y balance de la orquesta.

En salas de uso polivalente con caja escénica preparada para actuaciones teatrales, debe colocarse una “**concha acústica**” en el escenario cuando la sala se utiliza para música. La concha acústica proporciona las reflexiones necesarias hacia los propios músicos y hacia la sala.

En un teatro, el escenario (caja escénica) no forma parte de la sala, desde el punto de vista acústico (no se computa el volumen del escenario). En el caso de un auditorio, el escenario forma parte de la sala y sirve para dar reflexiones.