



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

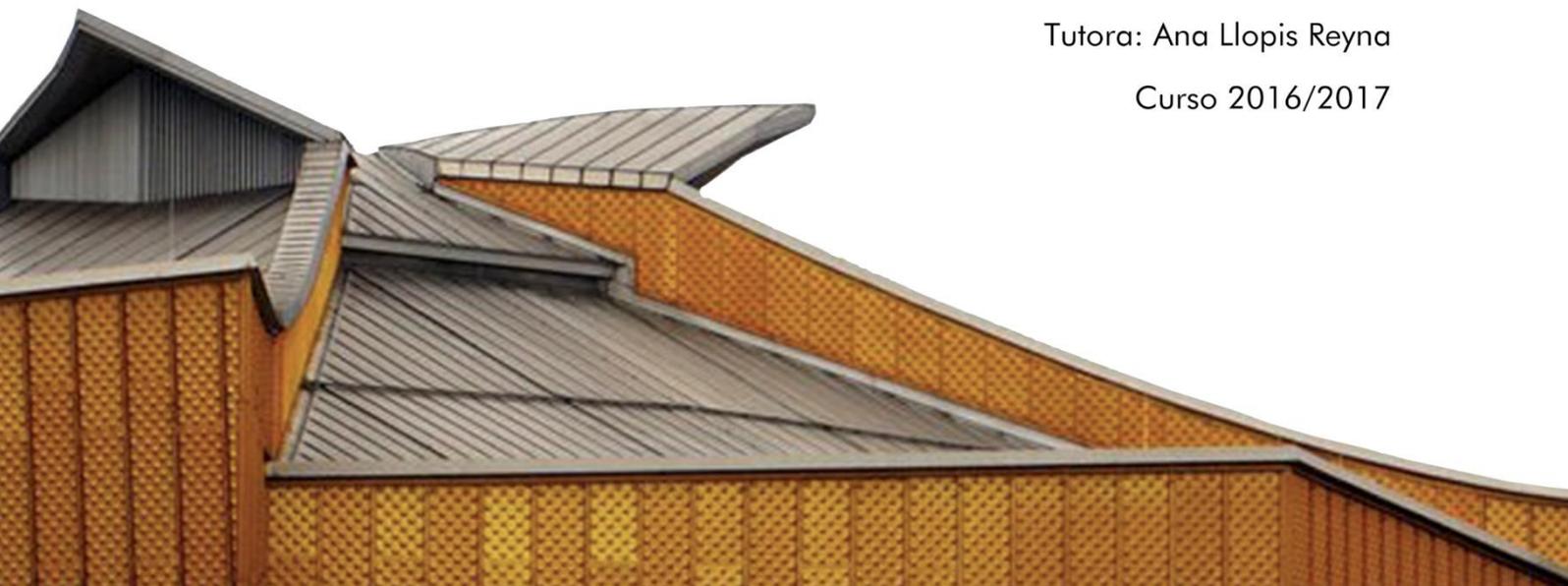
# La Acústica de la Filarmónica de Berlín ¿Mito o realidad?

Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de València

Alumna: María Teresa Solbes Franciso

Tutora: Ana Llopis Reyna

Curso 2016/2017





“El hombre, el espacio y la música aquí se relacionan entre sí de una manera nueva”.

Hans Schauron.



**RESUMEN (Castellano):**

La música y la acústica, desde un punto de vista arquitectónico, son dos disciplinas totalmente ligadas y es, precisamente la arquitectura del espacio donde va a ser interpretada la música, el vínculo que las une. A partir de una revisión bibliográfica sobre datos acústicos, arquitectónicos y socioculturales de la Filarmónica de Berlín, se ha analizado la acústica de la sala desde distintos puntos de vista para evaluar su calidad de audición.

**PALABRAS CLAVE:** Filarmónica de Berlín; Acústica; Sala de concierto

**RESUM (Valencià):**

La música i l'acústica, des d'un punt de vista arquitectònic, són dues disciplines totalment lligades i és precisament l'arquitectura de l'espai on va a ser interpretada el vincle que les uneix. A partir d'una revisió bibliogràfica de dades acústiques, arquitectòniques i socioculturals de la Filharmònica de Berlin, s'ha analitzat l'acústica de la sala des de diferents punts de vista per a evaluar la seua qualitat d'audició.

**PARAULES CLAU:** Filharmònica de Berlin; Acústica; Sala de concert

**RESUM (English):**

Music and acoustics, from an architectural point of view, are two disciplines totally linked, precisely; the architectural space where the music is interpreted is the linkage between them. In order to achieve an objective result, a specific bibliographical research about acoustic and architectural data and the socio-cultural context from the Berlin Philharmonic has been used to analyze the obtained results and establish some conclusions.

**KEY WORDS:** Berlin Philharmonic Hall; Acoustic; Concert Hall



## ÍNDICE

01_INTRODUCCIÓN. MÚSICA Y ACÚSTICA	01
02_BERLÍN TRAS LA II GUERRA MUNDIAL	02
03_DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA	04
03.1_Hans Schauron y su arquitectura	04
03.2_ El concurso y la idea de la Filarmónica de Berlín	05
03.3_Desde el interior hacia el exterior	07
03.4_Materialidad	09
03.5_Planimetría e imágenes	10
04_ANÁLISIS ACÚSTICO	11
04.1_Evolución del análisis acústico en salas de audición	11
04.2_Análisis acústico de la Filarmónica de Berlín	13
04.2.1_ Características geométricas	14
04.2.2_ Los antepechos y las paredes laterales	15
04.2.3_ El techo de la sala	20
04.2.4_ La absorción de la sala. Los resonadores y las butacas.	25
04.2.5_Visibilidad	28
04.2.6_Aislamiento exterior	30
04.2.7_Reverberación	31
04.2.8_Claridad	36
04.2.9_Intimidad (ITDG)	36
04.2.10_Textura	37
04.2.11_IACC	37
04.2.12_Factor Lateral (LF)	38
04.2.13_Soporte. ST1	39
05_EVALUACIÓN DE LA ACÚSTICA DE LA FILARMÓNICA DE BERLÍN	40
05.1_Análisis de resultados	40
05.2_Críticas	48
06_CONCLUSIONES	53
07_BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXO. Planimetría general e imágenes.	57



## 01\_INTRODUCCIÓN. MÚSICA Y ACÚSTICA

*La Música es un sonido o combinación de sonidos que varían constantemente o discontinuamente con el tiempo, cambiando en tono, timbre y volumen con la finalidad de comunicar un mensaje a los oyentes. La composición y la interpretación de la música son arte.*

*La acústica, tomada en un sentido amplio, es la ciencia del sonido. Resonancia, frecuencia, amplitud, reflexiones y tiempos de retardo – estas son algunas de las cosas sobre las que los acústicos se hacen preguntas y formulan respuestas.*

Leo Beranek.

El arte de la música y la ciencia del sonido son dos disciplinas completamente ligadas entre ellas. Una vive de la otra. La música no puede desligarse del espacio en que se interpreta y el espacio debe responder a la música interpretada. Ambas disciplinas son esenciales para comunicar correctamente al oyente el mensaje deseado.

El interés por este análisis y estudio sobre la Filarmónica de Berlín surge tras la fusión de conocimientos entre una enseñanza musical que empezó a los 7 años y una enseñanza arquitectónica que lleva 5 años formándose.

Como consecuencia, en el presente trabajo se propone un análisis acústico de la Filarmónica de Berlín, con la finalidad de obtener unas conclusiones que permitan descubrir la verdadera calidad de audición de la sala. Para ello, la metodología empleada ha seguido los pasos de búsqueda de información, selección bibliográfica, estudio, análisis de resultados y conclusiones.

Para la búsqueda y selección bibliográfica, se ha recurrido a libros y artículos científicos de autores destacados dentro del mundo de la acústica, así como a artículos de carácter subjetivo redactados por críticos y músicos.

Una vez seleccionada la información, se ha organizado y analizado de manera objetiva, recurriendo en todo momento a conceptos físicos, analíticos e históricos. Estos datos se compondrán de una manera ordenada a lo largo de todo el trabajo, empezando por una pequeña reseña histórica que sitúa la Filarmónica de Berlín en su contexto histórico, seguida de una descripción formal y arquitectónica del edificio para posteriormente analizar con detalle todos los parámetros acústicos encontrados.

Finalmente, el trabajo concluye el tema estudiado mediante una serie de comparaciones de los parámetros acústicos de la sala respecto a otras salas reconocidas a nivel mundial, apoyando estos resultados con algunas críticas subjetivas de músicos y críticos.

## 02\_BERLÍN TRAS LA II GUERRA MUNDIAL

Tras la II Guerra Mundial, la ciudad de Berlín (Alemania) queda totalmente devastada y dividida durante más de cuarenta años y, posteriormente, unificada en una época donde las dos partes ya formaban dos zonas muy distintas.

Todo comienza casi un año antes de que terminara la II Guerra Mundial, el 12 de Septiembre de 1944, cuando la Comisión Consultiva Europea (Gran Bretaña, la Unión Soviética y los Estados Unidos) firmó el Protocolo de Londres en el que se establecía un acuerdo para dirigir conjuntamente la administración del territorio. Sin embargo, la realidad no fue la establecida con el documento y finalmente en 1948 Berlín quedó dividido, al igual que el propio país, en el sector Occidental formado por norteamericanos, británicos y franceses y en el sector Oriental compuesto por los soviéticos. La situación llegó a tal punto de conflicto que en 1961 llega a su cumbre con la construcción del Muro de Berlín, enfatizando la partición. De este modo, la ciudad pasa a ser como dos ciudades distintas, tanto en política como en vida.

Imagen 02.1. Muro de Berlín y Puerta de Brandeburgo en 1961. A la derecha zona Este y a la izquierda zona Oeste.



Fuente: <http://www.semana.com/mundo/articulo/el-muro-de-berlin-el-final-de-una-era/407830-3> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

Por un lado, el sector Oeste se quedó las áreas periféricas del centro de la ciudad y procedieron a destruir todas las ruinas que quedaban, quedando un territorio prácticamente virgen con una imagen aún más desoladora. Como solución, la República Federal de Alemania creía en una ideología urbana moderna, asimilando sus conceptos a la libertad y a la democracia.

Por otro lado, el sector Este tenía la posesión completa de todo el centro histórico, el cual se pretendía reconstruir con el deseo del Estado de que se llevara a cabo con el modelo académico, basándose en los principios de arquitectura clásica. De este modo, pretendían que esta parte de Berlín siguiera siendo una capital a nivel europeo.

Para llevar a cabo la actuación del Sector Este, en 1952 se elabora un plan académico basado en la "city beautiful" el cual recordaba a la arquitectura hitleriana. Éste no sobrepasaba los límites del Berlín Oeste por lo que la zona Occidental decide promover en 1957 un concurso, que a diferencia del plan de 1952, éste abarcaba la totalidad de la ciudad. Contó con la participación de grandes arquitectos como Le Corbusier, Alison y Peter Smithson, Hans Spengelín y Pempelfort y Hans

Schaaron y Wils Ebert. Además, los planes propuestos eran modernos derivados de los criterios de los CIAM.

Sin embargo, el desafío político que suponía hacer un plan que abarcara ambos territorios de Berlín, quedó destrozado por la construcción del Muro de Berlín en 1961, quedando fuera de lugar la idea de una ciudad unificada y moderna.

El Berlín occidental no abandonaba la idea de la arquitectura moderna y a lo largo de varios años, se manifestaron mediante exposiciones como la Interbau y la construcción de edificios como el Kulturforum, el Museo de Arte Moderno de Mies van der Rohe y en último lugar y más significativo, la Filarmónica de Berlín de Hans Schaaron.

Imagen 02.2.Vista aérea 1967 de la Filarmónica. 1967



Fuente: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1041909&page=5>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

- (1) ANTÓN CAPITEL. (1992) "Tradición y cambio en la arquitectura y la ciudad de Berlín" en Tradición y cambio de la arquitectura de seis ciudades europeas.
- (2) PONCE DE LEÓN, LUÍS.(2014) < <http://orfeoed.com/melomano/2014/articulos/especiales/el-auditorio-de-la-filarmonica-de-berlin/>> [Consulta: 10 de Julio de 2017]
- (3) <http://www.semana.com/mundo/articulo/el-muro-de-berlin-el-final-de-una-era/407830-3> [Consulta: 30 de Abril de 2017]
- (4) <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1041909&page=5>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

## 03\_DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA

### 03.1\_ Hans Scharoun y su arquitectura

Bernhard Hans Henry Scharoun (Bremen, Alemania, 20 de Septiembre de 1893 - Berlín, 25 de Noviembre de 1972), fue un arquitecto representativo del siglo XX debido al estudio exhaustivo de la diversidad de formas arquitectónicas ligadas al Expresionismo.

Imagen 03.1.1. Hans Scharoun



Fuente: < <http://arxiubak.blogspot.com.es/2015/03/hans-scharoun.html> > [Consulta: 11 de Julio de 2017]

La arquitectura de Scharoun pertenece al desarrollo de una tipología basada en la escala humana y los principios orgánicos, contraria a otras corrientes también pertenecientes al movimiento moderno más sintéticas y conceptuales como la arquitectura de Mies van der Rohe. Para el proceso creativo, basa sus ideas en esferas de significado, función y percepción de la humanidad a las que posteriormente les añade la condición de forma de la Gestalt. De estos principios, nace una arquitectura que hoy en día sigue pareciendo moderna debido a los esfuerzos del arquitecto en la interacción los conceptos de función y forma.

Desafortunadamente, con el estallido de la Segunda Guerra Mundial trabajaba como arquitecto ocasionalmente, subordinándose a los códigos estéticos nazis hasta los años cincuenta. A partir de entonces se dedicó plenamente a la arquitectura presentándose a concursos y ejerciendo como profesor de urbanismo en la Universidad de Berlín.

La Filarmónica de Berlín pertenece a esta última etapa donde se presenta a varios concursos de salas de concierto como el de la Ópera de Leipzig, el Liedersaal in Stuttgart y el Kasser Theater. Éste último le servirá para empezar a poner en práctica la idea de terrazas rodeando un escenario que posteriormente será trasladada directamente a la Filarmónica.

(1) < <http://arxiubak.blogspot.com.es/2015/03/hans-scharoun.html> > [Consulta: 11 de Julio de 2017]

(2) "Part II, Chapter 4" en *Successful Experimentation: Philharmonie Hall, Berlin, 1963*.

(3) BARKHOFEN, EVA MARIA. (2013). "Space, Humans, Music" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.

## 03.2\_ El concurso y la idea de la Filarmónica de Berlín

En el año 1956, la Orquesta Filarmónica de Berlín tenía 80 años y durante su existencia nunca había tenido su propia sala de conciertos. El edificio donde solían tocar fue drásticamente bombardeado y pasaron a ensayar en la Academia de Música. Ese mismo año, en Agosto de 1956, se convocó una competición para la nueva sala de conciertos de la Filarmónica.

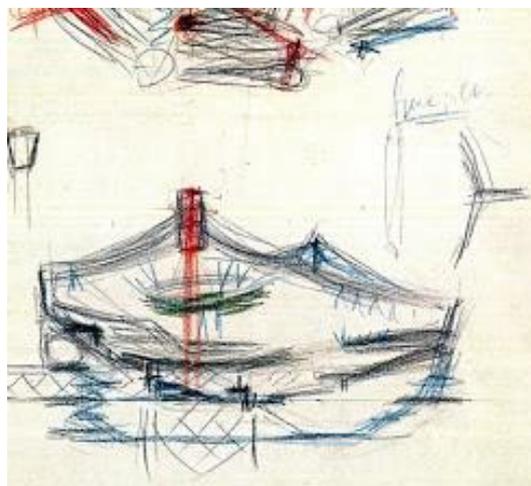
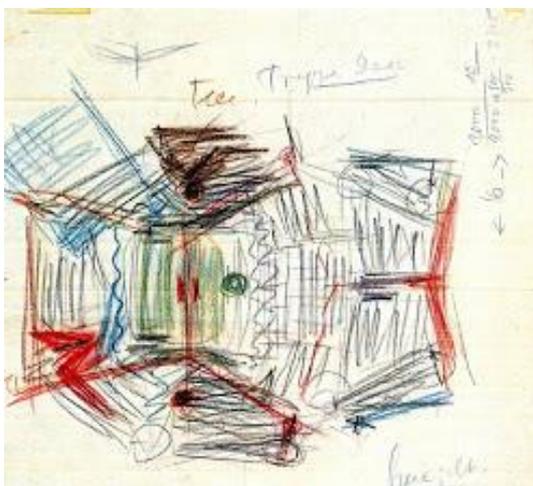
Con las condiciones impuestas de que la sala tuviera una capacidad para 2.000 personas y una buena acústica en un solar triangular al lado de la vieja escuela, Schauron con la ayuda del acústico Lothar Cremer se llevó el primer puesto. El proyecto ganador tenía algo que no tenían los demás, según el director titular de la Orquesta Filarmónica de Berlín, Herbert Von Karajan, el hecho de tener la orquesta en el centro era algo innovador e involucraba a los oyentes completamente en la actuación.

Las palabras de Herbert Von Karajan fueron:

*"Of all the designs submitted, one seems to stand out above all others; which is founded on the principle that performers should be in the middle. This Project seems fortunate on several grounds...but most impressive of all is the complete concentration of the listener on the musical event."* <sup>(1)</sup>

De esta manera, se crea por primera vez una sala con "la música en el centro", creando, en primer lugar, un espacio más íntimo donde cada oyente puede sentirse más cerca de los músicos y, en segundo lugar, fomentar el concepto social de asistir a los conciertos. Con unos asientos rodeando el escenario, la audiencia puede verse al igual que la orquesta, recordando a las formas tradicionales de escuchar música informalmente.

Imagen 03.2.1. Bocetos de idea de la Filarmónica de Berlín



Fuente: <<http://tallerdearquitecturas.blogspot.com.es/2008/06/la-sala-de-conciertos-de-la-orquesta.html>> [Consulta: 27 de Junio de 2017]

Hans Schauron asimila esta idea basada en la centralidad con un valle, donde el fondo es la orquesta, quedando ésta rodeada por las terrazas de butacas como si fueran las montañas colindantes:

*"Music as the focal point: this was the keynote from the very beginning. (...) The orchestra and conductor stand spatially and optically in the very middle and if this is not the mathematical centre, nonetheless they are completely enveloped by their audience. (...) The construction follows the pattern*

*of a landscape, with the auditorium seen as a valley, and there at its bottom is the orchestra surrounded by a sprawling vineyard climbing the sides of its neighbourhood hills.*<sup>(1)</sup>

Así, la Filarmónica de Berlín pasará a la historia como una sala innovadora en cuanto a su forma y en cuanto a su manera de entender la música, donde “productores” y “consumidores” no estarán separados ni divididos por nada. Su construcción empezará en el año 1961 y terminará en 1962.

Imagen 03.2.2. Foto aérea desde el sureste durante la construcción. Año 1961-1962



Fuente: < <http://www.metalocus.es/es/noticias/la-filarmonica-de-berlin-historia-y-nuevo-concepto> > [Consulta: 12 de Julio de 2017]

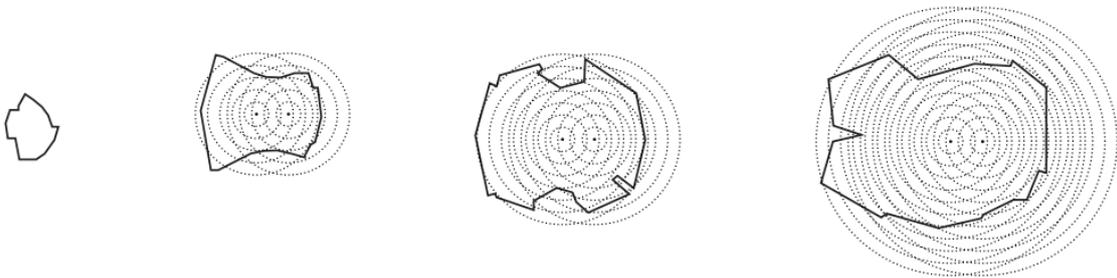
- (1) JONES, PETTER BLUNDELL (1997). *Hans Scharoun*. London : Phaidon.
- (2) < <http://tallerdearquitecturas.blogspot.com.es/2008/06/la-sala-de-conciertos-de-la-orquesta.html> > [Consulta: 27 de Junio de 2017]
- (3) BERAEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlín, 1963*.
- (4) BARRON, MICHAEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spoon press.
- (5) < <http://www.metalocus.es/es/noticias/la-filarmonica-de-berlin-historia-y-nuevo-concepto> > [Consulta: 12 de Julio de 2017]

### 03.3\_ Desde el interior hacia el exterior

El edificio fue diseñado desde el interior hacia el exterior y consecuentemente prevalecen las condiciones funcionales y estéticas respecto a las características urbanas de su alrededor. El conjunto ha hecho entender de una manera diferente el espacio musical, la continuidad espacial interior y como la ciudad puede articular espacios a través de un sistema de confrontaciones formales.

El espacio interior se conforma en torno a la orquesta la cual queda situada en el centro y en la cota más baja del edificio para recordar la forma más natural de escuchar música, en la que los oyentes se sitúan alrededor de un grupo de músicos. De forma concéntrica y escalonada, se van elevando terrazas evitando dirigirse de manera directa hacia el centro del auditorio.

Figura 03.3.1. Distancias radiales comparativas desde el centro geométrico y desde el centro del escenario.



Fuente: ERIK VAN DER PUTTEN. *Building case study Berlin Philharmonic*

A esta forma de entender el espacio de manera escalonada, también responde una organización funcional en planta, alternándose zonas públicas y privadas en un mismo nivel.

Figura 03.3.2. Organización escalonada de espacios públicos y privados.



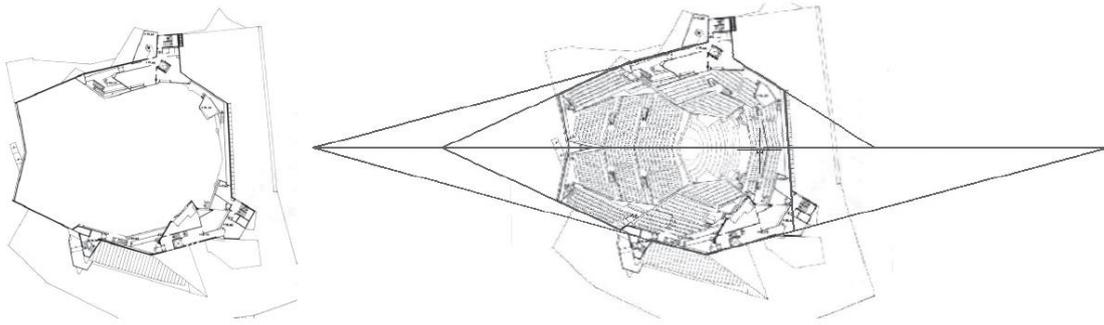
Fuente: ERIK VAN DER PUTTEN. *Building case study Berlin Philharmonic*.

\*En color azul espacios públicos y en color morado espacios privados.

Desde esta perspectiva, el volumen se relaciona y se sitúa en su emplazamiento a partir de este espacio interior, el cual genera una fuerza que traslada las zonas interiores a su fachada exterior mediante pliegues cóncavos y convexos.

Esta configuración formal, desemboca en una planta propia de un organismo vivo con simetrías en su aspecto exterior contrarias a sus asimetrías interiores.

Figura 03.3.3. Simétricas y asimétricas en planta.



Fuente: ENEKO BESA. (2016). *Schaaron Versus Gehry: dos opciones metodológicas personales explícitas a partir del análisis de la Filarmónica de Berlín y el Walt Disney Concert Hall.*

Otros aspectos relevantes sobre la concepción de la forma del edificio están relacionados con su emplazamiento inicial y el definitivo, ya que debido a las confrontaciones entre la parte Este y Oeste de Berlín, la Filarmónica cambia de ubicación una vez elaborado el proyecto. En primer lugar se situaba junto a una escuela preexistente desde cuyo pórtico neoclásico de entrada se accedía al nuevo edificio. En segundo lugar, se cambió la ubicación a la definitiva y a pesar todo, Schauron aceptó sin discusiones. El edificio sigue manteniendo su distribución interior y sólo se manifiestan cambios significativos de proyecto en la entrada principal en la cual se aprecia una zona cubierta exterior para invitar a los usuarios hacia el interior. Este hecho resalta aún más el énfasis del arquitecto por proyectar desde el interior hacia el exterior.

- (1) ERIK VAN DER PUTTEN. *Building case study Berlin Philharmonic.*
- (2) ENEKO BESA. (2016). *Schaaron Versus Gehry: dos opciones metodológicas personales explícitas a partir del análisis de la Filarmónica de Berlín y el Walt Disney Concert Hall.*

### 03.4\_ Materialidad

La materialidad del edificio tuvo que ser rediseñada varias veces hasta ajustarse al presupuesto de 7 millones de Deutsche Marks, quedando finalmente con dos acabados exteriores (enfoscado y chapa metálica) para diferenciar los distintos usos que se desarrollaban en el interior, la zona pública y administrativa y la sala de conciertos y con acabados interiores de madera y piedras naturales.

Los acabados junto a la forma interior de la sala serán fundamentales para determinar las características acústicas de la sala que de desarrollaran a continuación.

Tabla 03.4.1. Materiales del edificio

Elemento	Materiales
Cerramiento	- Doble hoja de hormigón - Enfoscado (zona inferior) - Chapa metálica (zona superior)*
Pavimento del Foyer	- Mezcla de piedras naturales con mosaicos (escultor Erich F. Reuther)
Techo sala	- Cubierta hormigón - Chapa intermedia - Yeso poroso acústico con acabado blanco (3cm llegando a 4cm en el centro) sobre metal, suspendido por varillas de metal aisladas de la vibración de las pasarelas.
Paredes laterales	- Madera delgada con cámara de aire - Los parapetos están revestidos con Jurassic yeso caliza.
Paredes laterales del escenario	- Madera delgada con cámara de aire dispuesta de manera para reflejar el sonido hacia los músicos.
Paneles suspendidos sobre el escenario	- 10 paneles trapezoidales de poliéster, cada uno de 81 ft <sup>2</sup> (7.5 m <sup>2</sup> ) de área, 50% espacio abierto entre, altura variable de 32-40 ft (10-12 cm) sobre el escenario.
Unidades de absorción del techo	- 136 formas piramidales, combinadas con difusores de sonido, unidades de baja frecuencia Helmholtz-resonadores.
Pavimento escenario	- Tablones de madera sobre cámara de aire de 76cm.
Pavimento público	- Parquet de roble en base de asfalto sobre losas prefabricadas que cubren el pleno de aire
Butacas (respaldo)	- Contrachapado de chapa moldeada
Butacas (asiento)	- Tapizadas en la parte superior - Parte inferior cubierta con tela perforada
Butacas (brazo)	- Madera
Barandillas	- Rejillas metálicas de láminas planas pintadas de negro

Fuente: Elaboración propia a partir de:

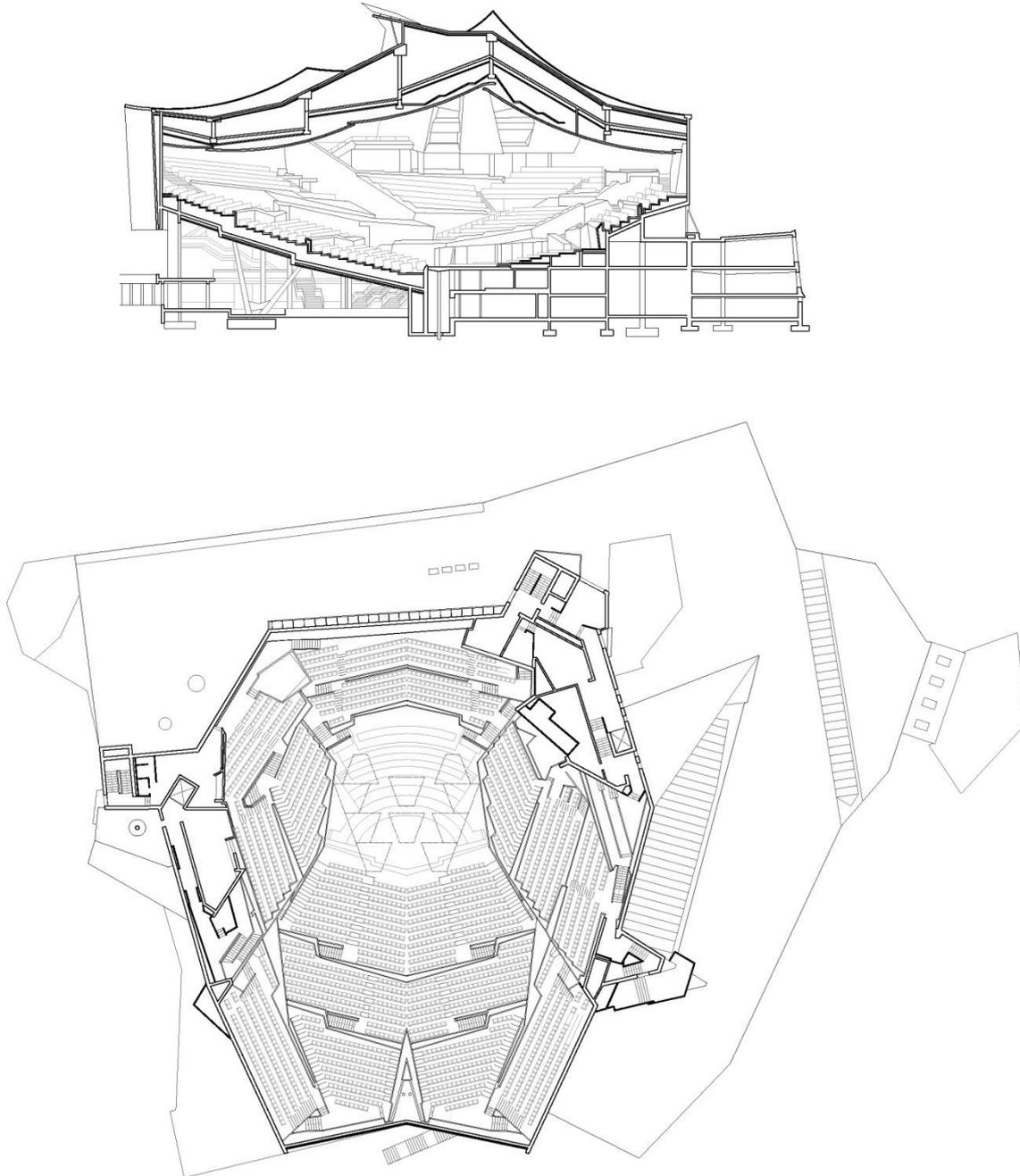
- (1) BERANEK, LEO. (1996). *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (2) WILFRIED WANG. (2013). "The Lightness of Democracy" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (3) "Part II, Chapter 4" en *Successful Experimentation: Philharmonie Hall, Berlin, 1963*.

\*El Proyecto tuvo que someterse a varios ajustes económicos durante su construcción. Uno de ellos fue cancelar el recubrimiento de cobre de la fachada y sustituirlo por un hormigón coloreado. Después de varios años, y con la aprobación de Scharoun, se procedió al recubrimiento con la actual chapa metálica anodizada.

### 03.5\_Planimetría e imágenes

A continuación se muestra la sección y planta más significativas del edificio con las cuales se ha realizado el análisis acústico.

Figura 03.5.1. Planta y sección representativas.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:700.

En el Anexo final se han adjuntado las demás plantas y secciones del edificio junto con una recopilación de imágenes tanto interiores como exteriores de la Filarmónica.

## 04\_ANALISIS ACÚSTICO

### 04.1\_Evolución del análisis acústico en salas de audición

El diseño acústico de salas ha sido de gran importancia desde hace siglos. Las formas de los anfiteatros griegos y romanos con una escena circular y con el público alrededor y en pendiente ya denotaban cierta preocupación por la calidad acústica, consiguiendo sonido directo sin ningún tipo de obstáculo, apoyado por 2 o 3 fuertes primeras reflexiones.

A principios del siglo XIX en Europa empiezan a aparecer grandes salas de concierto, movimiento relacionado con la aparición del concierto como acto social, donde la clase media empieza a dar soporte a este tipo de actos. Estas salas solían tener una forma rectangular de proporciones 2x1x1 (shoebox) y suelo plano por provenir del diseño de las primeras salas de baile.

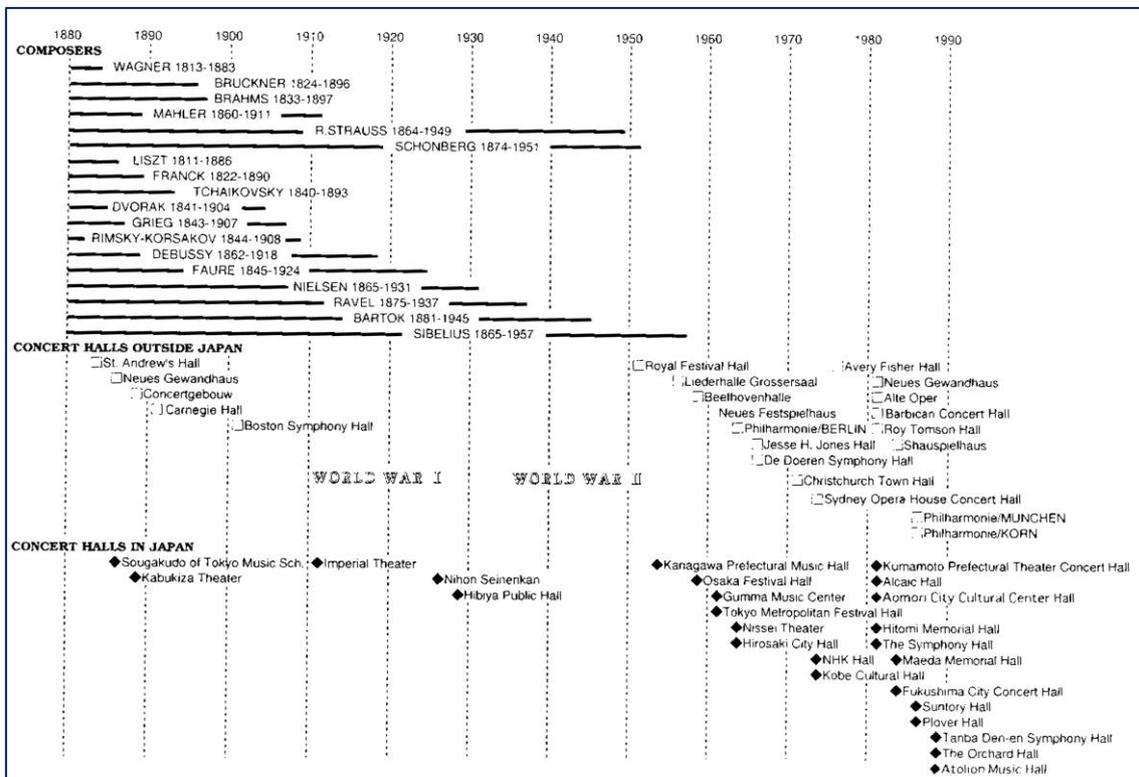
A grandes rasgos, puede hacerse una clasificación histórica sobre la evolución del diseño de las salas de conciertos:

Tabla 04.1.1. Clasificación histórica de las salas de concierto.

Antes de 1910	Diseño basado en precedentes.
Entre 1910-1940	Era de la pseudo-ciencia y plantas en forma de abanico.
Entre 1950-1985	Período de experimentación.
A partir de 1985	Retorno a los precedentes.

Fuente: elaboración propia a partir de BARRON, MIKE. (2009). *Then and now-how concert hall design of the 1960s and '70s compares with the present.* University of Bath and Fleming & Barron, Bath, England.

Figura 04.1.1. Historia de compositores y salas de concierto desde 1880 hasta 1990.



Fuente: YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 15: Historical background of concert hall acoustics in Japan" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.

Tal como muestra la Tabla 04.1.1, las salas de concierto pasan por varios grados de diseño, los cuales están directamente relacionados con el desarrollo de los conocimientos acústicos: el tiempo de reverberación de Sabine en 1900, la absorción de los asientos por Beranek en 1960, el EDT de Schroeder en 1965, el factor de energía lateral de Marshall en 1967, etc.

De esta manera, a principios del siglo XX se sigue el modelo establecido hasta entonces basado en la típica forma de “caja de zapatos”, situando la orquesta en un extremo de la sala. Posteriormente, se apuesta por la forma “en abanico”, dividiendo la zona de público en dos ángulos de visión distintos, aunque no se obtuvieron grandes resultados acústicos. Finalmente, es en el período de experimentación donde empieza a crecer la preocupación por la calidad acústica y la variedad de formas de las salas. Será dentro de este contexto donde queda ubicada en el tiempo la Filarmónica de Berlín, la primera sala de conciertos con la orquesta situada en el centro.

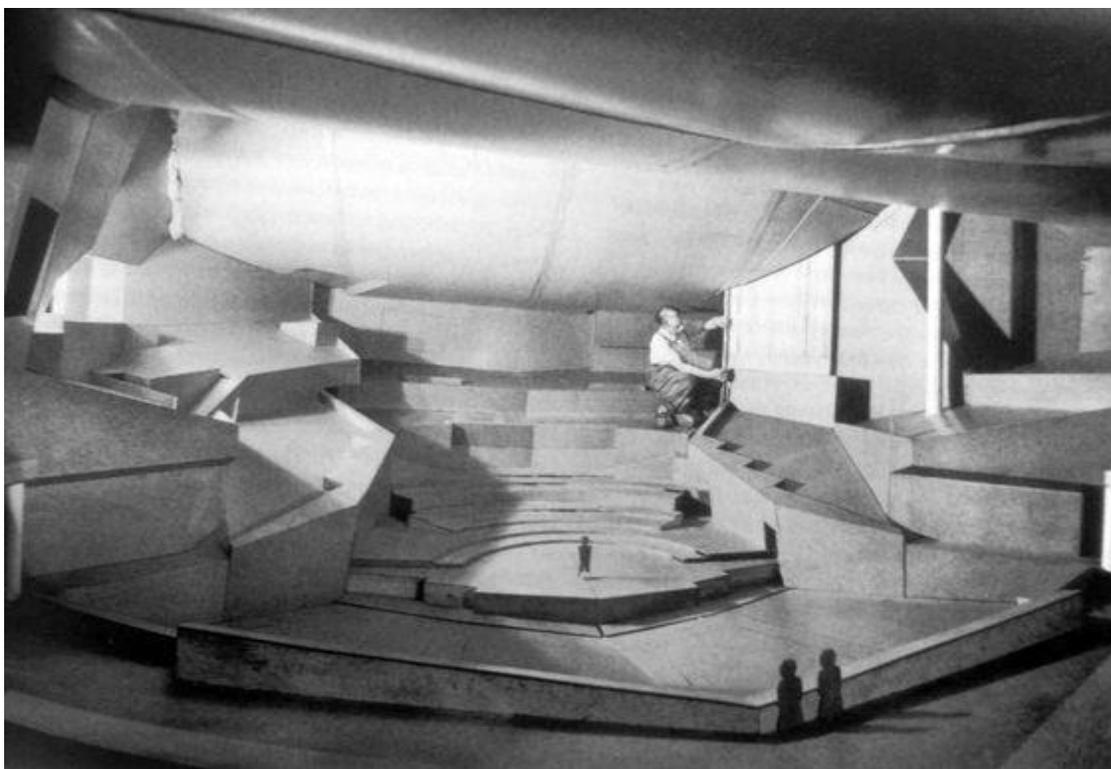
- (1) YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). “Chapter 15: Historical background of concert hall acoustics in Japan” en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.
- (2) R.SAITO. (1991). *Yokohama Taisho Yougaku Roman*. Maruzen Library.
- (3) BARRON, MIKE. (2009). *Then and now-how concert hall design of the 1960s and '70s compares with the present*. University of Bath and Fleming & Barron, Bath, England.

## 04.2 Análisis acústico de la Filarmónica de Berlín

La Filarmónica de Berlín es una sala dedicada exclusivamente a la música, innovadora en cuanto a su tipología, la cual reemplaza la tradicional “caja de zapatos” situando la orquesta en el centro de la sala. Ha sido y sigue siendo elogiada por su calidad acústica, así como criticada en diversos aspectos tales como que el 70% del público está situado delante de la orquesta y el 30% detrás y en los lados.

Para el desarrollo acústico de la sala, el arquitecto Hans Scharoun trabajó conjuntamente con el acústico Lothar Cremer, el cual se mostró en un principio reacio a situar la orquesta en el centro de la sala aunque finalmente decidió aceptar el reto. El trabajo fue todo un éxito debido a la cooperación entre ambos. Trabajaron con una maqueta de madera a escala 1:9, donde fueron ajustando al milímetro todas las superficies para conseguir reflexiones adecuadas en cada punto de la sala.

Imagen 04.2.1. Hans Scharoun trabajando en la maqueta a escala 1:9



Fuente: BARKHOFEN, EVA MARIA. (2013). “Space, Humans, Music” en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.

A continuación se procede al análisis de sus características geométricas y parámetros acústicos de manera detallada, incidiendo en cada elemento de manera individual.

- (1) GEORGE C. IZENAOUR. (1996). *Theater Design*. Canada: Mc Graw-Hill, Inc.
- (2) *Pinterest*. <<https://es.pinterest.com/pin/58195020159494320/>> [Consulta: 10 de Julio de 2017]
- (3) BERAEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlín, 1963*.
- (4) BARKHOFEN, EVA MARIA. (2013). “Space, Humans, Music” en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.

## 04.2.1\_ Características geométricas

Tabla 04.2.1.1. Detalles geométricos Filarmónica de Berlín.

Detalle técnico	
N	2.335
V	21.000 m <sup>3</sup>
S <sub>a</sub>	1.057 m <sup>2</sup>
S <sub>A</sub>	1.385 m <sup>2</sup>
S <sub>0</sub>	172,5 m <sup>2</sup>
S <sub>T</sub>	1.558 m <sup>2</sup>
H	12,8 m
D	30 m
L	29 m
W	42,7 m
V/N	9 m <sup>3</sup>
L/W	0,68
V/ S <sub>T</sub>	13.5 m
S <sub>A</sub> /N	0.62 m <sup>2</sup>
V/S <sub>A</sub>	15.2 m
H/W	0.3

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. *How they sound, concert and opera houses*.

### Leyenda:

N: número de asientos en la sala.

V: volumen de la sala en metros cuadrados.

S<sub>a</sub>: área de suelo sobre la cual están situadas las butacas.

S<sub>A</sub>: área acústica de la audiencia. Esta superficie incluye S<sub>a</sub> (definida anteriormente) y las bandas de 0,5m de separación entre las filas de butacas.

S<sub>0</sub>: área del escenario.

S<sub>T</sub>: S<sub>A</sub> + S<sub>0</sub>

H: altura media de la sala.

D: distancia desde el centro del escenario hasta el oyente más lejano.

L: longitud media de la sala.

W: anchura media de la sala.

De los datos expuestos anteriormente, es de interés comentar que el número total de asientos (N) es igual a 2.335, estando 250 butacas situadas detrás de la orquesta y unas 300 en los laterales de la sala.

(1) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 6: The Seventy-Six Halls" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

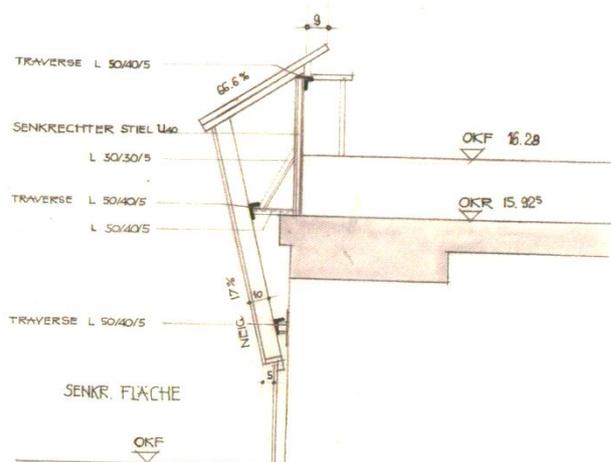
(2) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 2" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

## 04.2.2\_ Los antepechos y las paredes laterales

Con la idea principal de la Filarmónica de Berlín de situar a la orquesta en el centro de la sala, la audiencia se divide en 12 terrazas que la rodean, cada una de ellas con diferente ángulo de visión. Esta variedad de superficies e intersecciones entre niveles de patios de butacas será uno de los elementos fundamentales para la acústica de la sala junto con el techo (explicado en el siguiente apartado). Estas superficies las podemos dividir en dos grupos: los antepechos y las paredes laterales de cierre de la sala.

Los antepechos están compuestos por paredes de más de 3m de altura y algunas de ellas se encuentran inclinadas respecto a la vertical. Además, según el nivel en que se encuentren tienen distintas funciones. En primer lugar, los que están en el entorno inmediato al escenario son los encargados de reflejar el sonido hacia los músicos con la finalidad de mejorar su rendimiento oyéndose a ellos mismos y a los otros miembros del conjunto a la vez que aumenta la sensación de estar integrados en el espacio (figura 04.2.2.1). En segundo lugar, los antepechos situados en los niveles superiores a los anteriores proporcionan reflexiones a las butacas que tienen frente a ellos (figura 04.2.2.2). Como se verá más adelante, estas paredes también tendrán su función dentro de la configuración visual de la sala.

### Imagen 04.2.2.1. Detalle constructivo original del antepecho.



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

Las paredes del final de la sala evitan en todo momento ser paralelas entre ellas y ángulos cóncavos con la finalidad de evitar focalizaciones. Es por esto que el extremo del vestíbulo se encuentra invertido: si hubiera sido plano, hubiera actuado como reflector directo por el eje de la sala causando eco y si hubiera sido cóncavo hubiera producido una gran focalidad central (figura 04.2.2.3). En el otro extremo donde la sala se vuelve asimétrica, también se encuentra una solución de la pared en ángulo para evitar reflejos axiales (figuras 04.2.2.4 y 04.2.2.5).

Como resultado de estas geometrías, Beranek <sup>(4)</sup> clasifica la Filarmónica de Berlín como "Medium diffusivity" (difusividad media) caracterizada por la disposición de superficies en ángulo.

- (1) DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (2) BERAEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlín, 1963*.
- (3) JONES, PETTER BLUNDELL (1997). *Hans Schauron*. London : Phaidon.
- (4) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 10: Diffusion and surface irregularities" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (5) O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

Figura 04.2.2.1. Reflexiones producidas por los antepechos en el entorno inmediato al escenario.

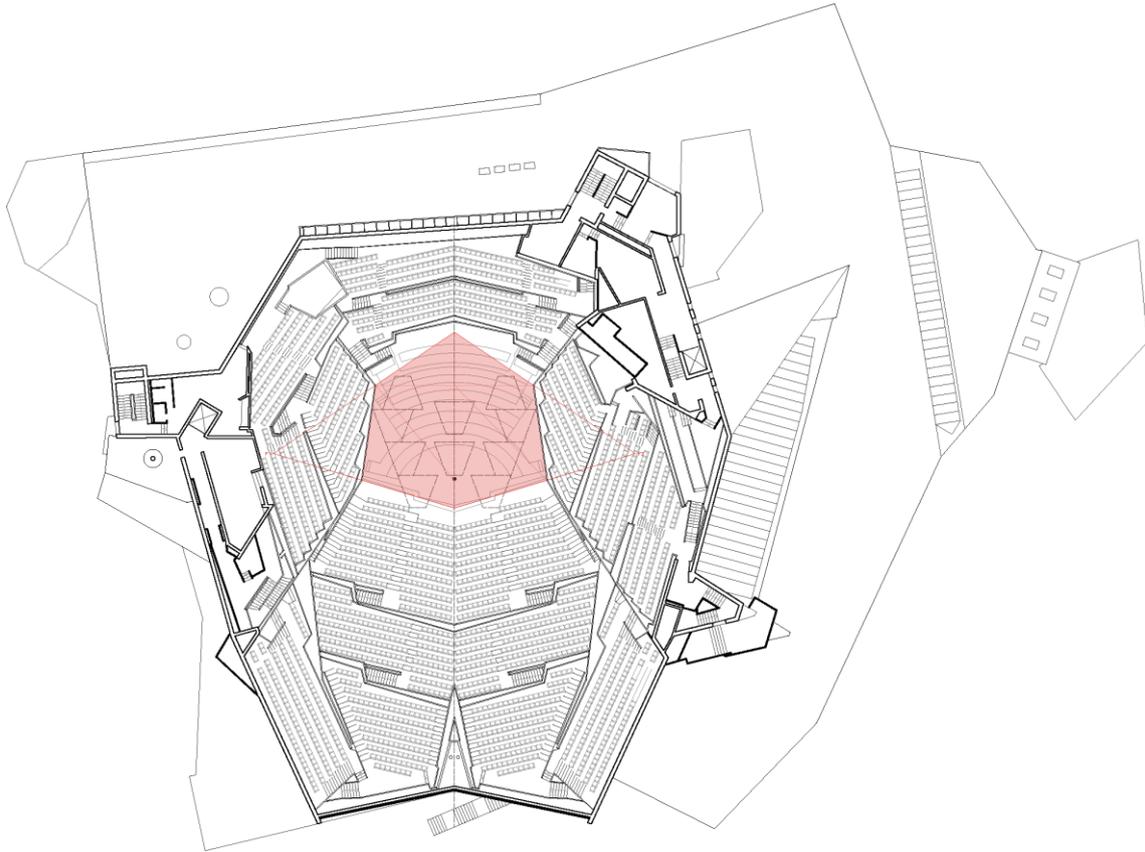
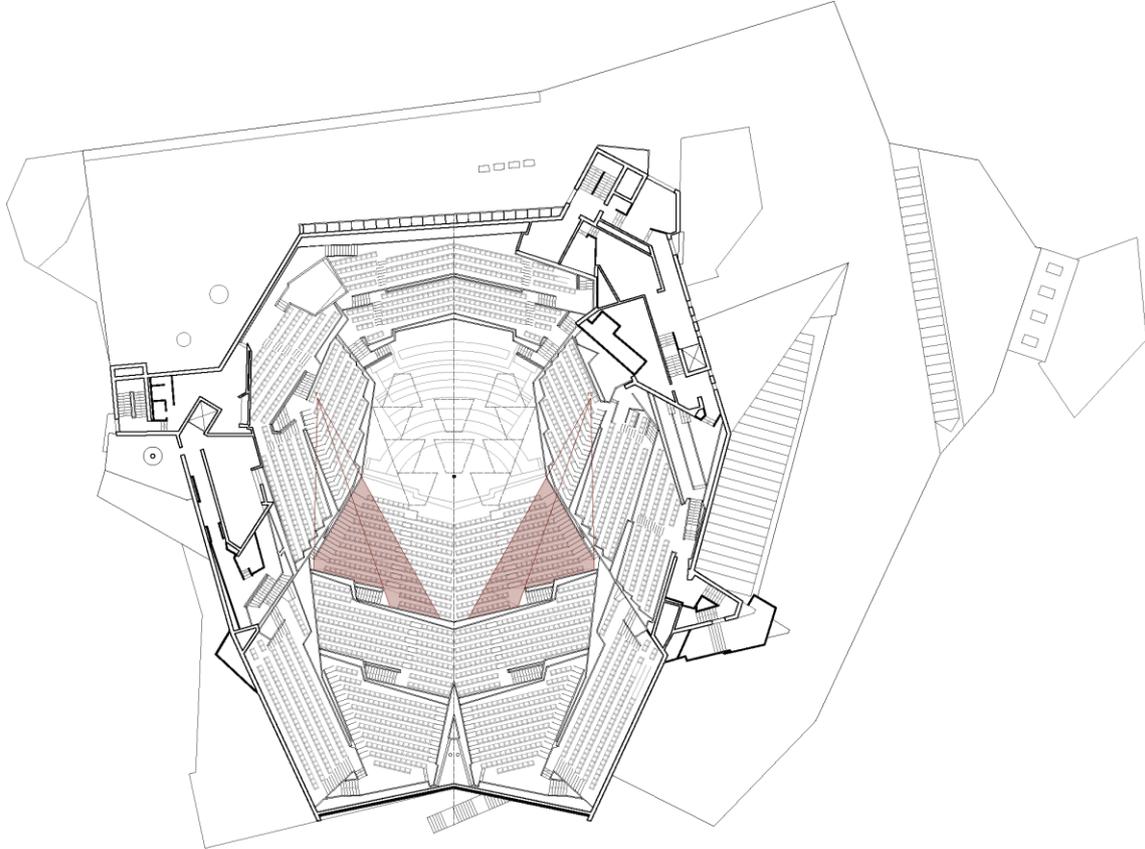
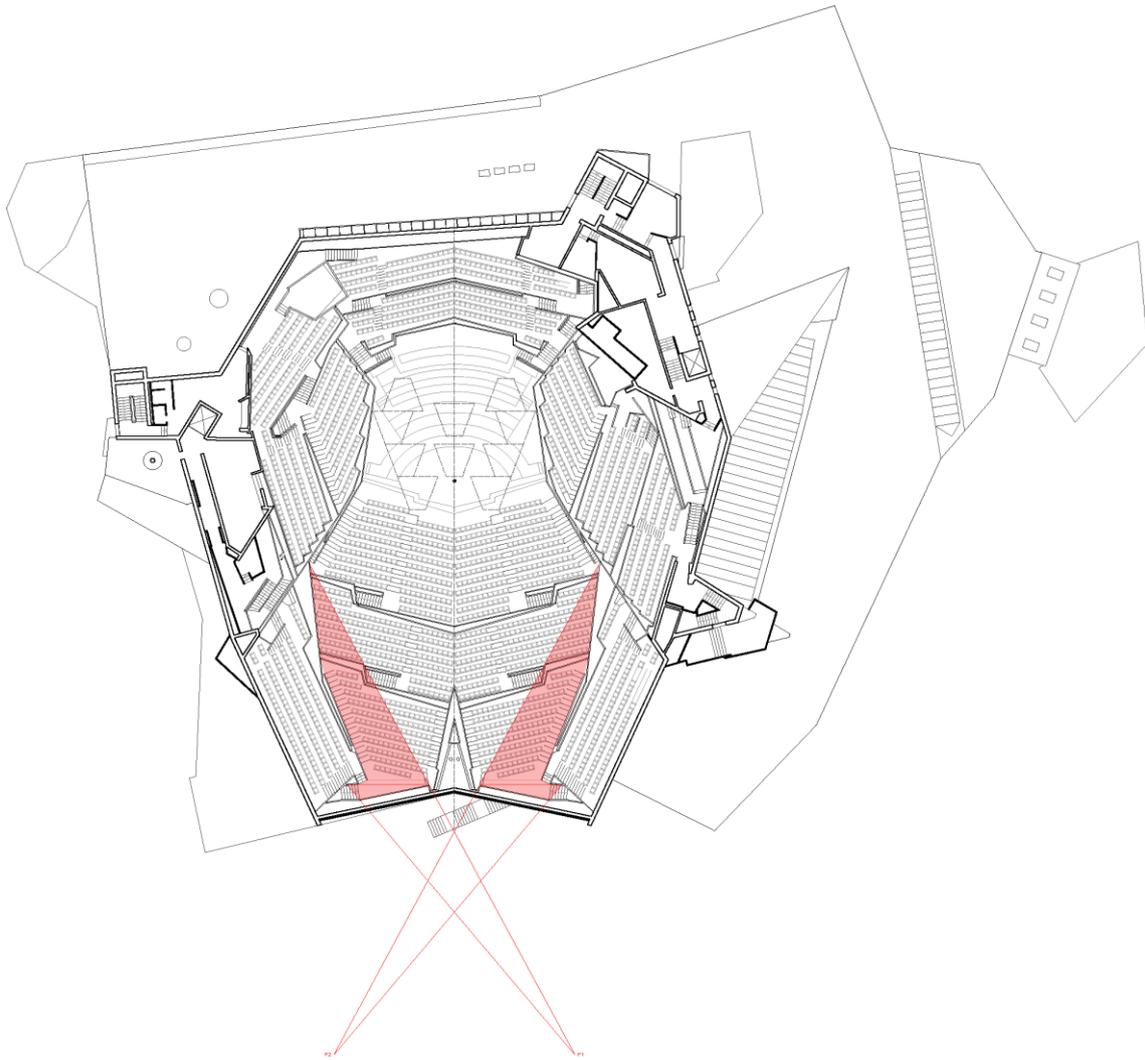


Figura 04.2.2.2. Reflexiones producidas por los antepechos de los niveles superiores.



Fuentes: Elaboraciones propias. Escala 1:700

Figura 04.2.2.3. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 1.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:700

Figura 04.2.2.4. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 2.

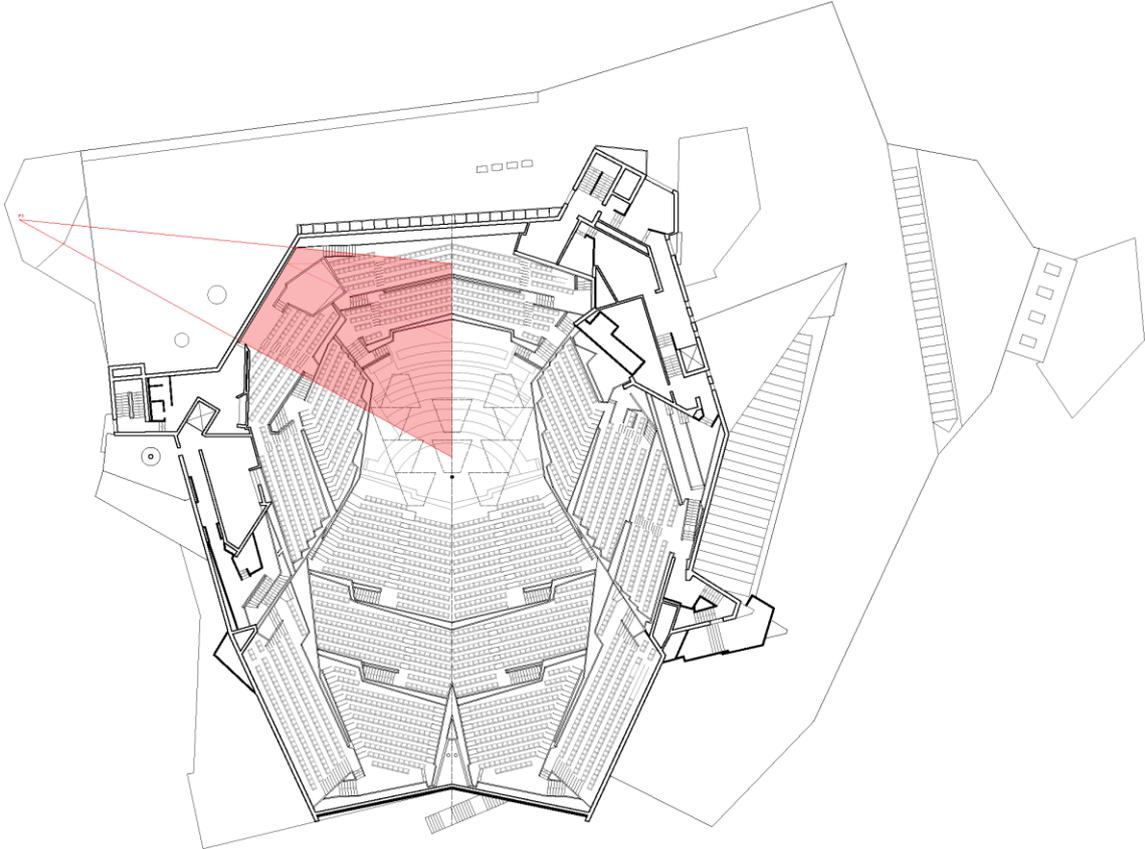
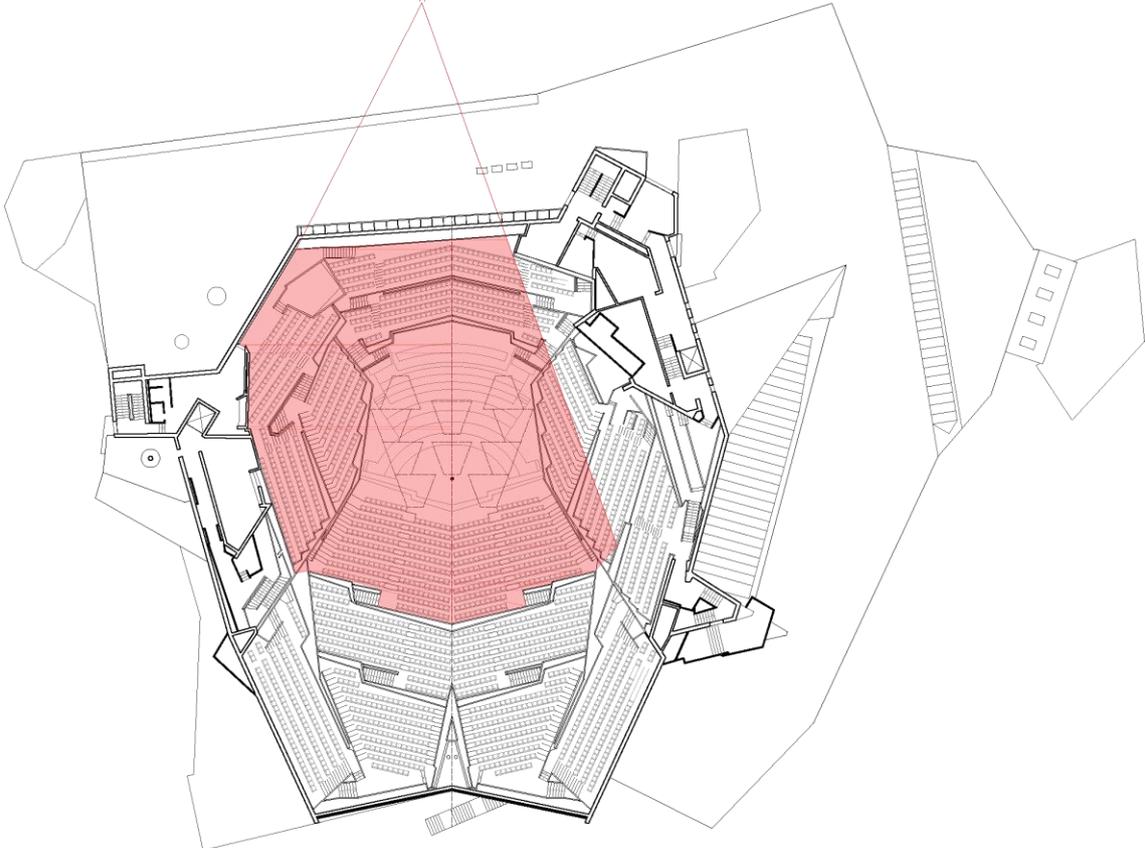
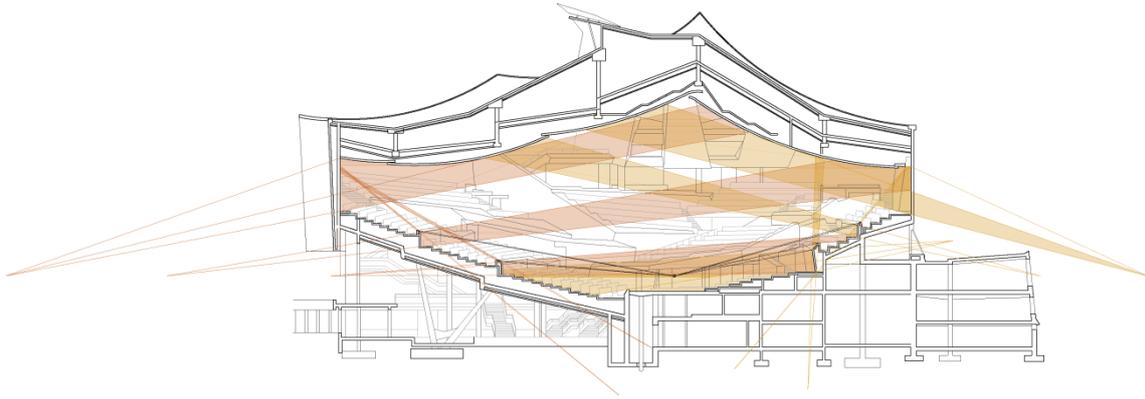


Figura 04.2.2.5. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 3.



Fuentes: Elaboraciones propias. Escala 1:700

Figura 04.2.2.6. Reflexiones producidas por los antepechos y paredes fondo sala en sección.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:700

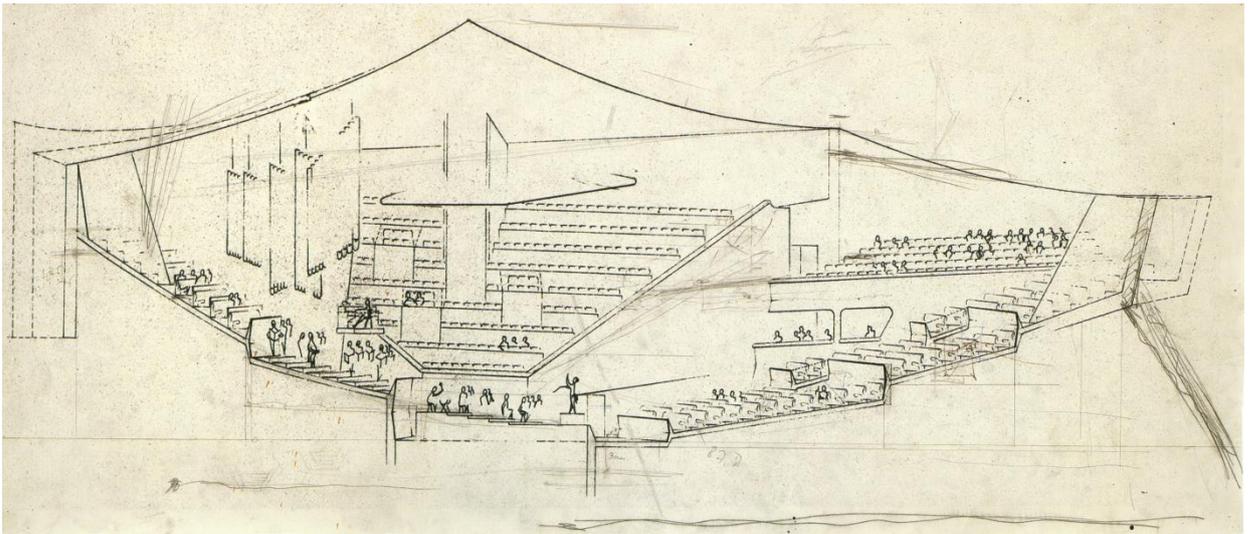
### 4.2.3\_ El techo de la sala

Una de las características más destacadas de la sala es la forma del techo diseñada por Lothar Cremer. Para conseguir el tiempo de reverberación óptimo de una sala de conciertos (2 segundos), el acústico calculó que era necesario dotarla de  $11 \text{ m}^3$  por espectador <sup>(3)</sup>. Sin embargo, en los datos técnicos finales calculados por Beranek <sup>(4)</sup> se reducen a  $9 \text{ m}^3$  por espectador.

Como solución, propuso en un principio situar techos bajos alrededor de las paredes para reforzar las reflexiones en las localidades más lejanas al escenario. No obstante, esta solución reduciría el volumen de la sala suponiendo consecuencias acústicas no deseables. Además, también se descartó utilizar una cúpula cóncava debido a las focalizaciones que produciría en ciertas zonas.

Finalmente, se optó por un techo convexo en forma de carpa (tent-like ceiling), permitiendo el volumen deseado total de  $25.000 \text{ m}^3$  <sup>(2)</sup>, cifra que se reduce a  $21.000 \text{ m}^3$  según los datos técnicos finales del estudio de Beranek <sup>(4)</sup>, y un reparto uniforme en toda la sala de las reflexiones gracias a esta forma geométrica (figuras 04.3.2.1, 04.3.2.2 y 04.3.2.3). Además, para prevenir focalizaciones debidas a la concavidad entre las dos superficies convexas que forman "la carpa" se colocaron 10 reflectores simples (llamados nubes acústicas) colgantes de poliéster en forma de trapecio. Éstas rompen la trayectoria del sonido y proporcionan reflexiones tempranas en el propio escenario y al público más cercano (figura 04.3.2.5 y 04.3.2.6).

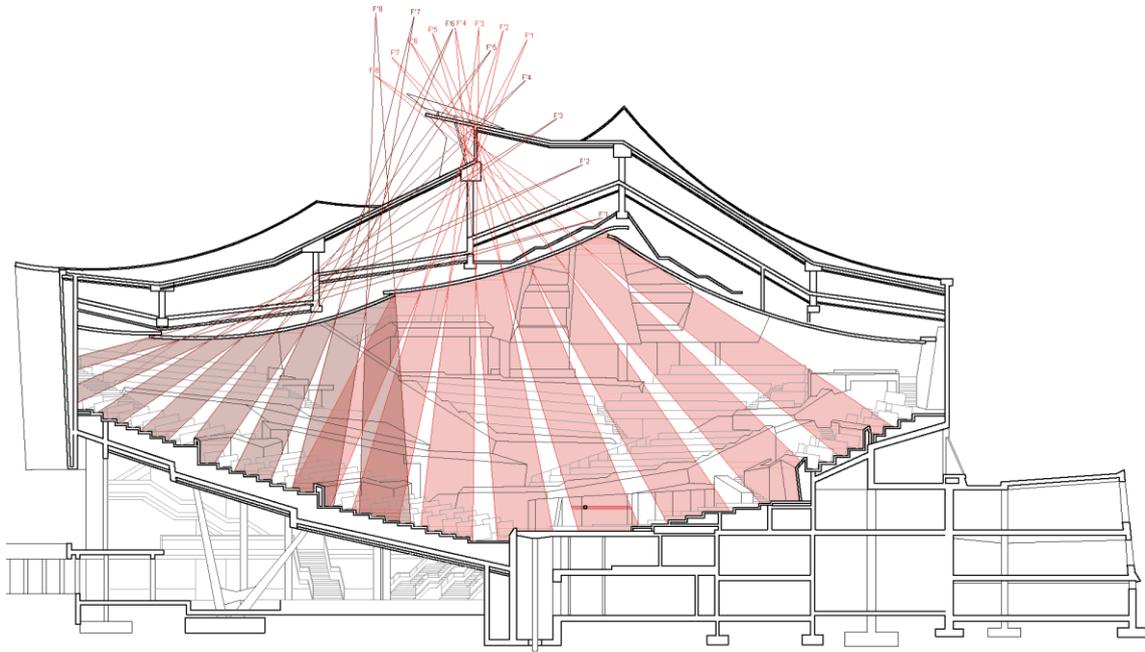
Imagen 04.2.3.1. Boceto inicial de idea. Sección de la sala. Techo y reflectores.



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

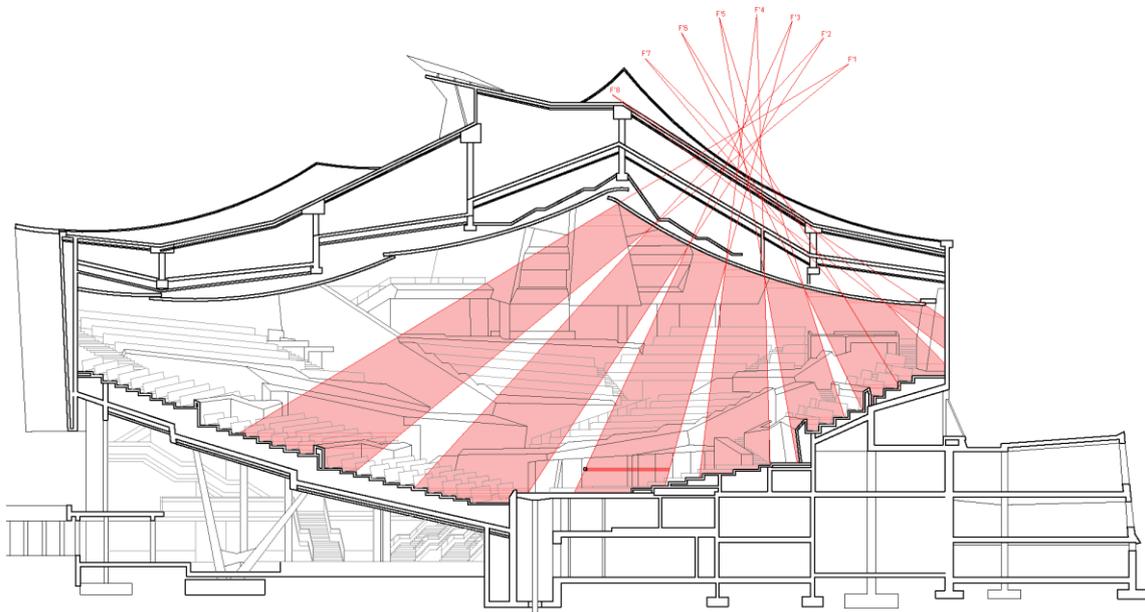
- (1) BERAEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlín, 1963.*
- (2) BARRON, MICHAEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spoon press.
- (3) JONES, PETTER BLUNDELL (1997). *Hans Schauron*. London : Phaidon.
- (4) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 6: The Seventy-Six Halls" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (5) Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.
- (6) O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

Figura 04.2.3.1. Reflexiones en el primer tramo de techo convexo.



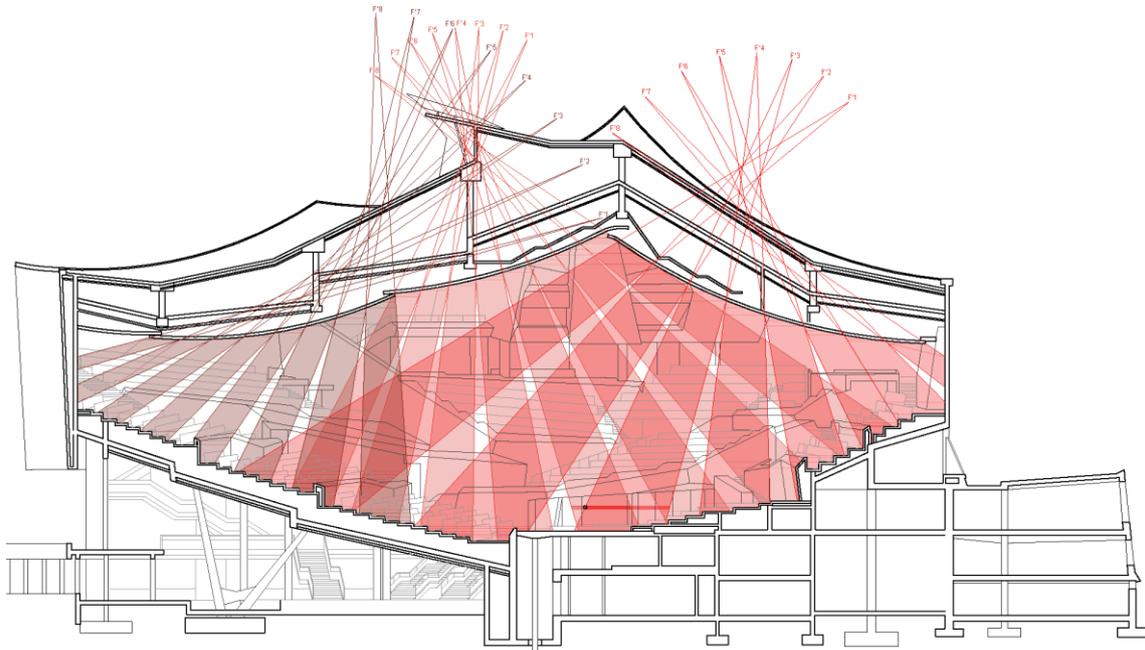
Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.2. Reflexiones en el segundo tramo de techo convexo.



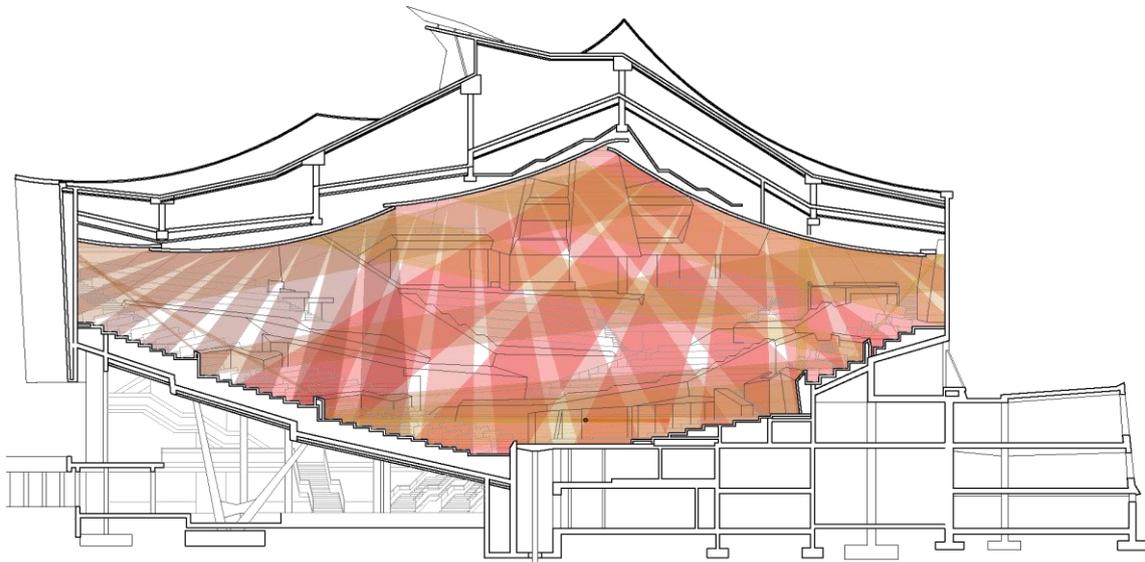
Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.3. Reflexiones totales techo.



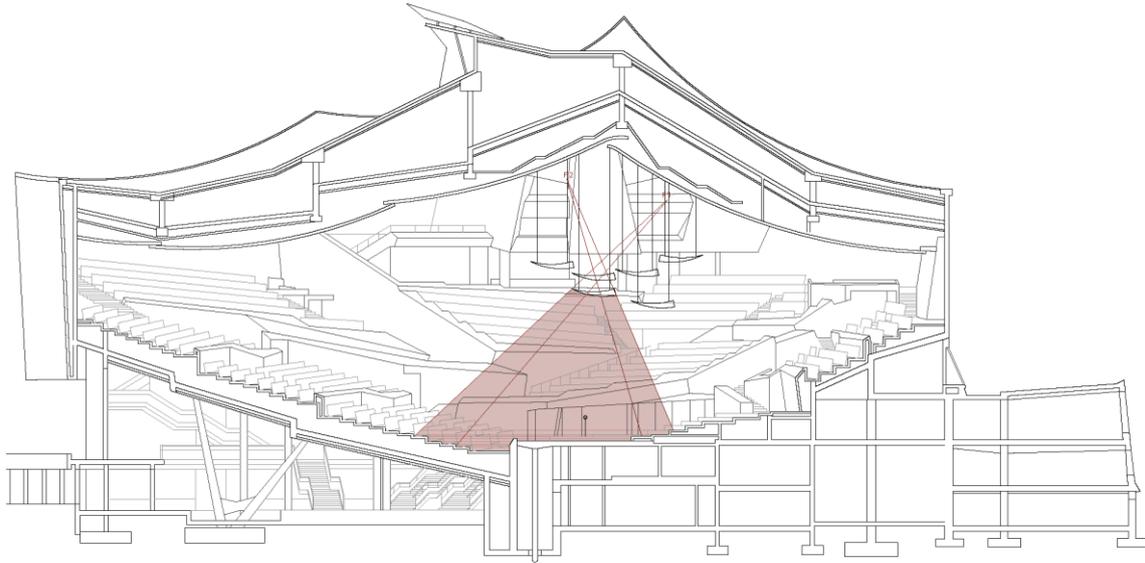
Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.4. Reflexiones totales producidas por los antepechos y el techo.



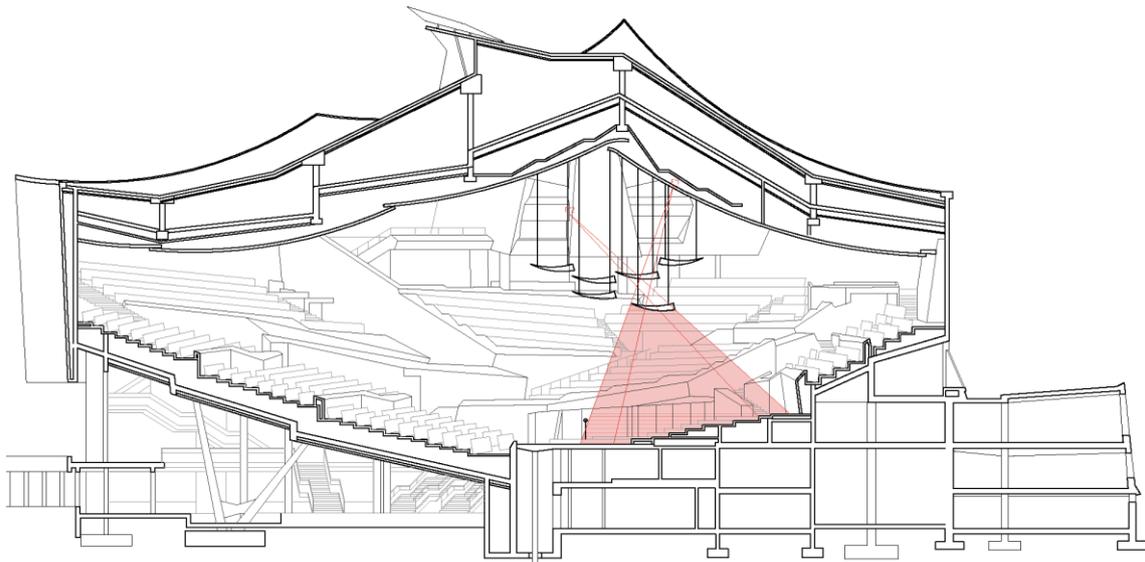
Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.5. Reflexiones producidas por panel 1.



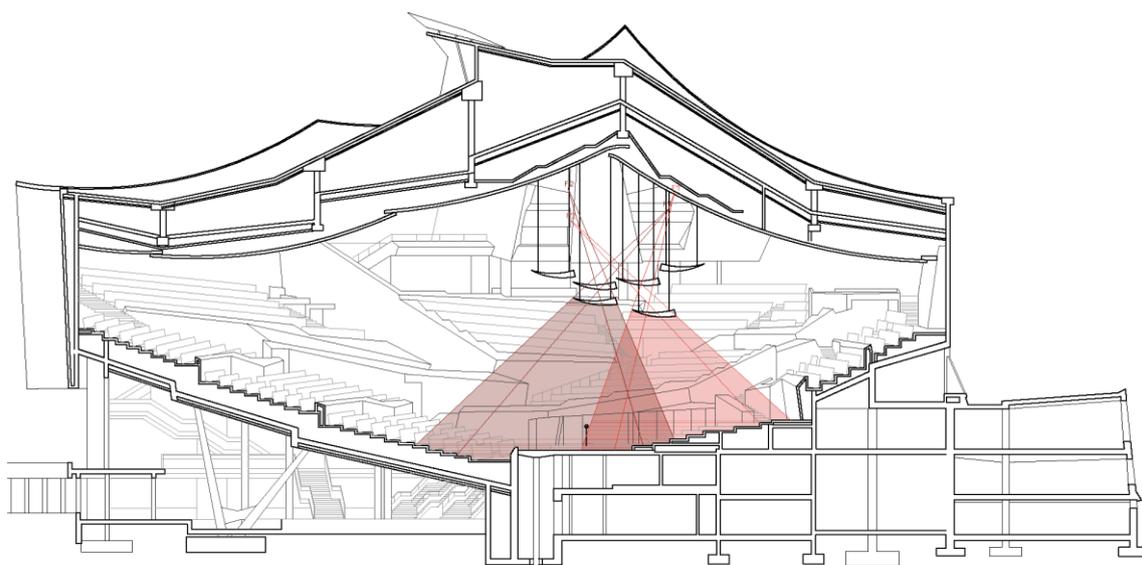
Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.6. Reflexiones producidas por panel 2.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

Figura 04.2.3.7. Reflexiones producidas por paneles 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500

#### 04.2.4 La absorción de la sala. Los resonadores, las butacas y la audiencia.

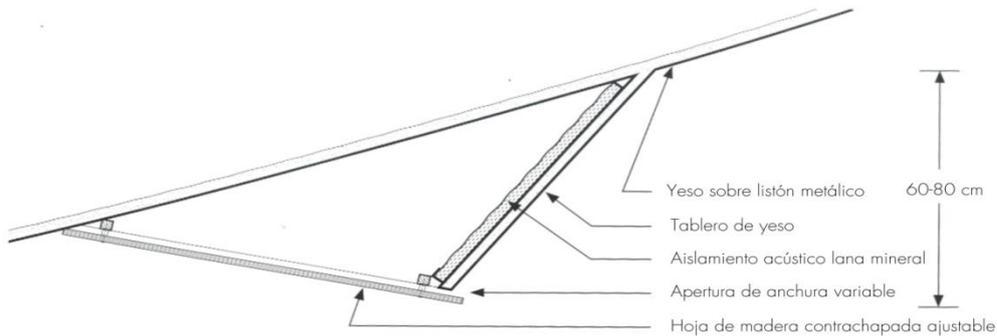
Para finalizar el análisis en sección de la Filarmónica de Berlín, quedan por definir las 136 estructuras piramidales dispuestas a lo largo del techo de todo el escenario, las butacas y la audiencia. Cada uno de estos elementos son los encargados de regular la absorción de las frecuencias bajas de la sala.

En primer lugar, las estructuras piramidales que conforman el techo próximo al escenario son resonadores Helmholtz. Estos resonadores funcionan principalmente con dos magnitudes básicas como son el volumen de la cavidad (V) y de la abertura, pudiendo admitir variedades de formas (en este caso, forma piramidal). De esta manera, el volumen de aire dispuesto en la cavidad actúa como un amortiguador del sonido.

Respecto a la materialidad, están contruidos con placas de yeso que componen la parte fija y un contrachapado de madera que regula la abertura del hueco por el que entra el sonido con la finalidad de aumentar o disminuir la frecuencia de resonancia del sistema. Además, en su interior se dispone un absorbente acústico de lana mineral que funciona como material absorbente de bajas frecuencias, mientras que la superficie exterior sirve como reflectante de sonido en distintas direcciones.

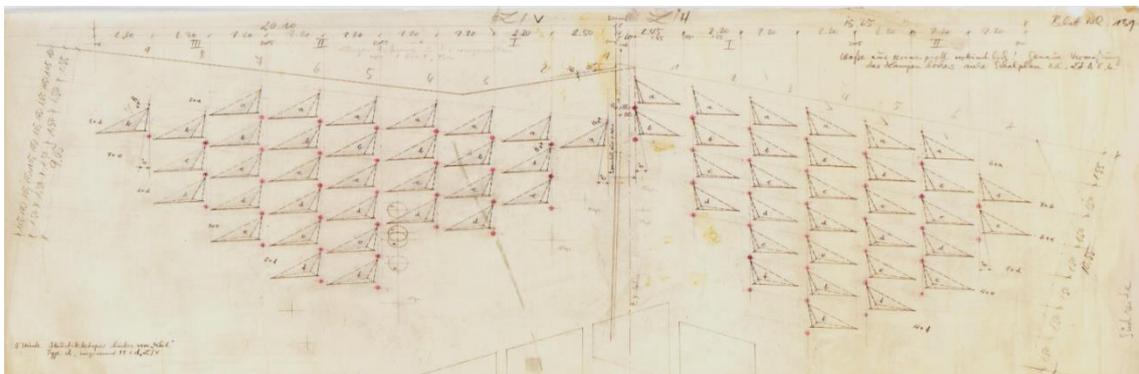
Cada resonador Helmholtz es ajustable e independientemente a los demás por lo que se pueden regular según el tipo de música que se vaya a interpretar.

Figura 04.2.4.1. Detalle constructivo resonador Helmholtz



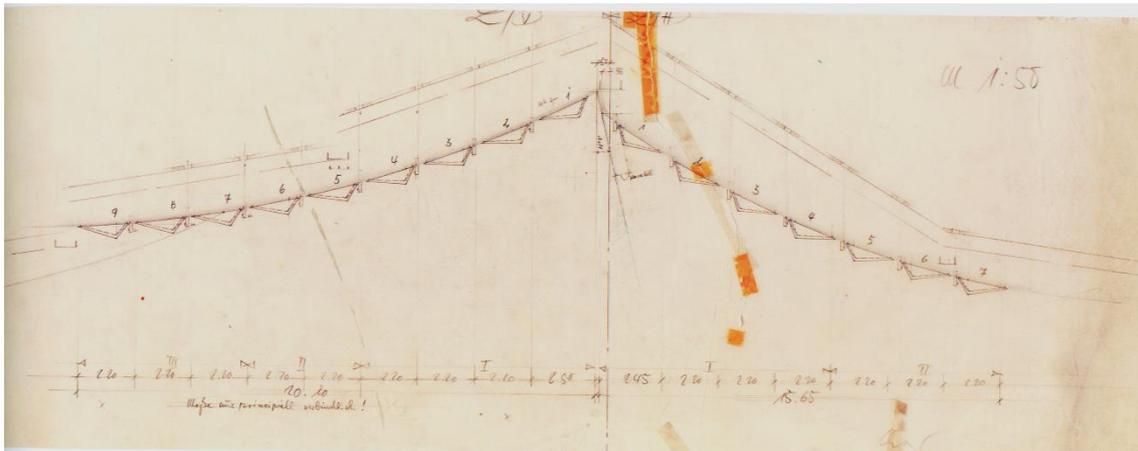
Fuente: Elaboración propia a partir de DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design

Figura 04.2.4.2. Esquema original sobre la disposición de los resonadores en planta.



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

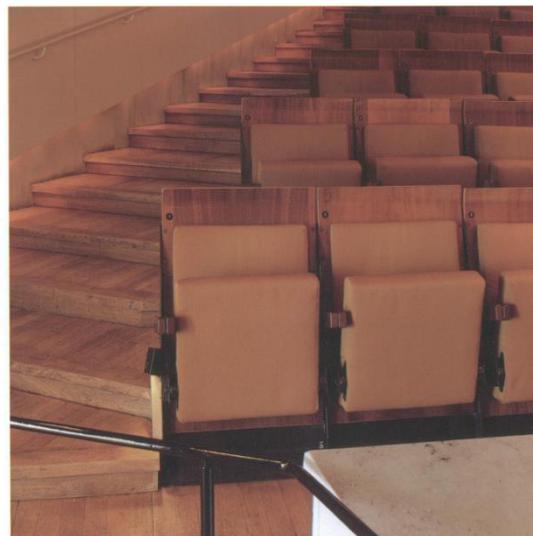
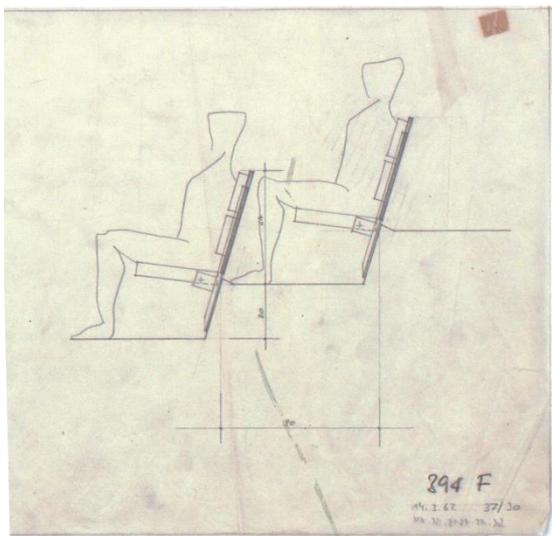
Figura 04.2.4.3. Esquema original sobre la disposición de los resonadores en sección.



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

En segundo lugar, las butacas son elementos de absorción importantes dentro de la misma sala. Éstas están compuestas por una estructura de contrachapado de madera, tapizadas en la parte superior y en el asiento.

Figura 04.2.4.4. Detalle original butacas.



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

Según el estudio realizado por Beranek <sup>(4)</sup>, a este tipo de butacas puede asignársele los siguientes coeficientes de absorción según la frecuencia.

Tabla 04.2.4.1. Coeficientes de absorción de las butacas.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha_T$	0,80	0,93	0,84	0,85	0,75	0,69

Fuente: BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 5: Sound absorption data for seats, both occupied and unoccupied, and for materials of innes surfaces" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

En tercer lugar, la audiencia compone el último elemento de absorción descrito en este apartado. Según las absorciones estudiadas por Beranek <sup>(4)</sup>, los coeficientes de absorción para la sala completamente llena son los siguientes:

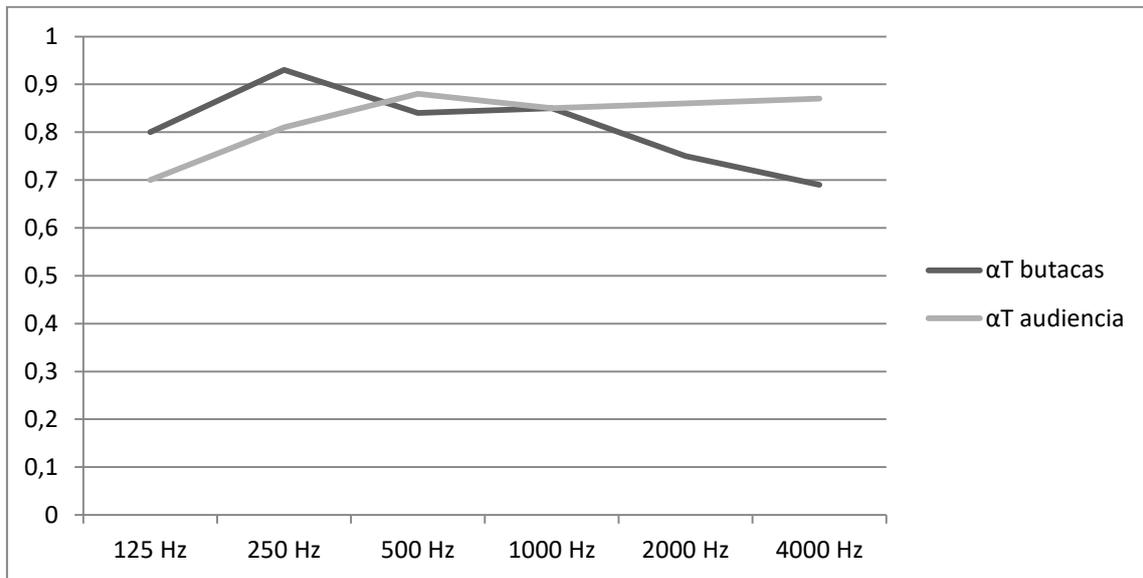
Tabla 04.2.4.2. Coeficientes de absorción de la audiencia. (100% de ocupación).

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha_T$	0,70	0,81	0,88	0,85	0,86	0,87

Fuente: BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 5: Sound absorption data for seats, both occupied and unoccupied, and for materials of innes surfaces" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Para finalizar, se muestra un gráfico comparativo con ambos coeficientes de absorción.

Gráfico 04.2.4.1. Coeficientes de absorción de las butacas y la audiencia.



Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas 04.2.4.1. y 04.2.4.2.

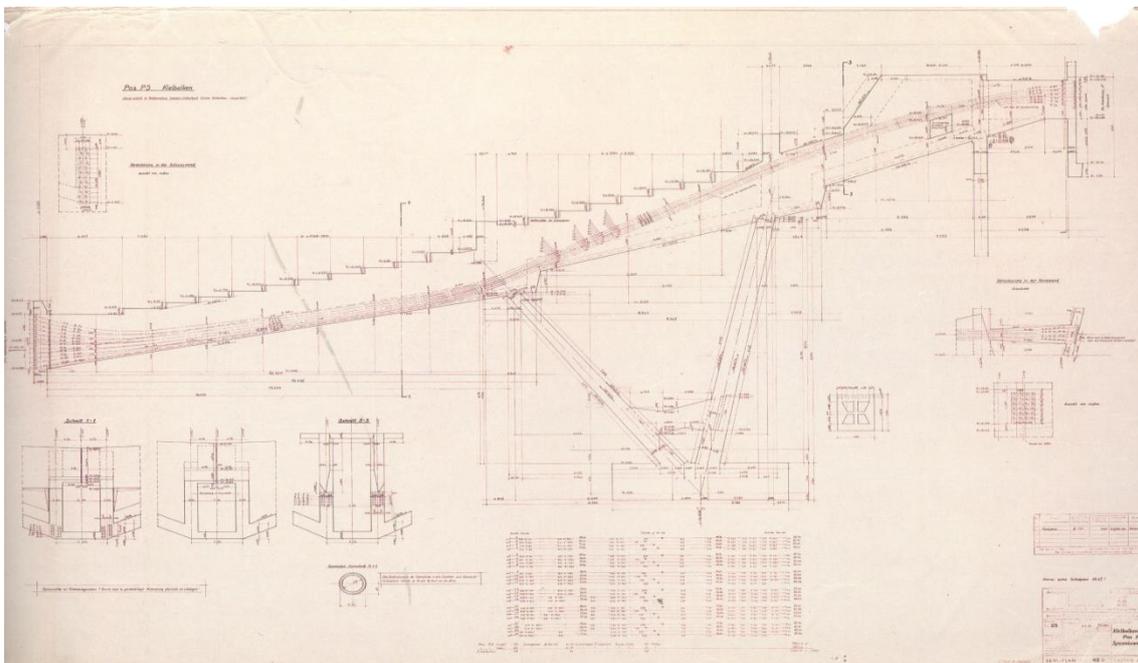
- (1) DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (2) O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.
- (3) VÁZQUEZ ROSADO, MANUEL. *Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a caso práctico*.
- (4) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 5: Sound absorption data for seats, both occupied and unoccupied, and for materials of innes surfaces" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

## 04.2.5\_Visibilidad

La sensación visual juega un papel muy importante en el edificio de la Filarmónica de Berlín, desde el hall de entrada del edificio hasta llegar a la propia sala de conciertos. En su interior, las terrazas están organizadas con múltiples ángulos alrededor del escenario. Así, se articulan los distintos puntos de visión entorno a una sensación de falta de perspectiva y ambigüedad sobre un punto focal que no precisamente se encuentra en el centro del escenario. Además, las distintas zonas de audiencia están frente a frente al igual que frente a la orquesta, enfatizando la idea de comunidad. Para conseguir esta sensación, tanto los antepechos de la sala como las pendientes crecientes en la audiencia serán de gran importancia.

Los antepechos estudiados anteriormente, además de tener una función como reflectores del sonido, también están relacionados con la visibilidad e intimidad de la sala. Cada una de estas paredes situadas en la parte trasera de cada nivel, impiden la visión de la parte trasera de éste nivel a los espectadores del nivel superior, creando una sensación más íntima debido a que los espectadores no ven todas las filas de butacas que existen entre ellos y el escenario, causando una sensación mayor de proximidad.

Figura 04.2.5.1. Detalle constructivo de la pendiente de las terrazas.



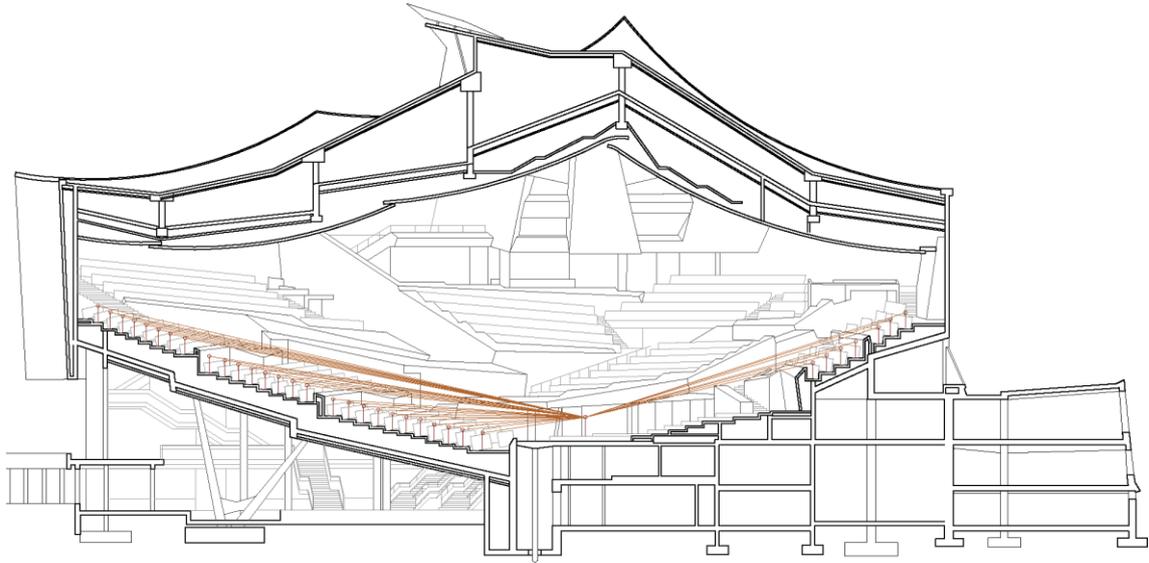
Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

\*En el Anexo gráfico se muestran más detalles sobre la construcción de las pendientes de la sala.

Las distancias máximas de visión y los desplazamientos angulares de visión son para las butacas situadas delante de la orquesta 33,5 metros y 15° mientras que para las butacas situadas detrás de la orquesta, estas cifras se reducen a 25,3 metros y 10°. Esta variación se produce debido a la diferencia de cantidad de público situada en ambos casos.

- (1) DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (2) GEORGE C. IZENAOUR. (1996). *Theater Design*. Canada: Mc Graw-Hill, Inc.
- (3) O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.
- (4) JONES, PETTER BLUNDELL (1997). *Hans Schauron*. London : Phaidon.

Figura 04.2.5.1. Visibilidad.



Fuente: Elaboración propia. Escala 1:500.

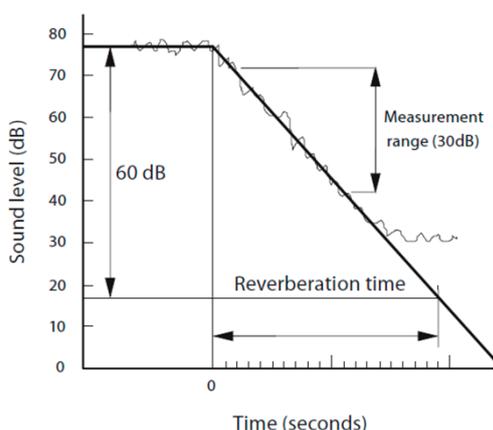


### 04.2.7 Reverberación

La reverberación es una de las características más importantes y determinantes en la acústica de una sala. El término se refiere al tiempo que persiste el sonido en un recinto una vez parada la emisión de la fuente y es sensiblemente uniforme en toda la sala y es función de la frecuencia. Para analizar la reverberación, se utilizarán dos parámetros: RT (reverberation time) y EDT (early decay time).

En primer lugar, se define el Tiempo de Reverberación (RT) como el tiempo necesario para que el nivel de sonido decaiga a una millonésima parte de su energía o el tiempo que el sonido tarda en decaer 60 dB.

Figura 04.2.7.1. Gráfica tiempo de reverberación.



Fuente: BARRON, MICHEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*.

A continuación, se muestran distintos resultados de mediciones del tiempo de reverberación de la Filarmónica de Berlín según la frecuencia obtenidas por diferentes estudios en distintos años, tanto con la sala llena como vacía. <sup>(2)</sup>

Tabla 04.2.7.1. Tiempos de Reverberación (s) en bandas de octava para la sala vacía.

S. vacía	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	BeSB, Berlin	1990	2.20	1.90	2.10	2.20	2.10	1.70
	BeSB	1992	2.40	1.90	2.20	2.10	2.10	1.80
	Takenaka	1993	2.06	1.94	2.20	2.24	2.20	1.94

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

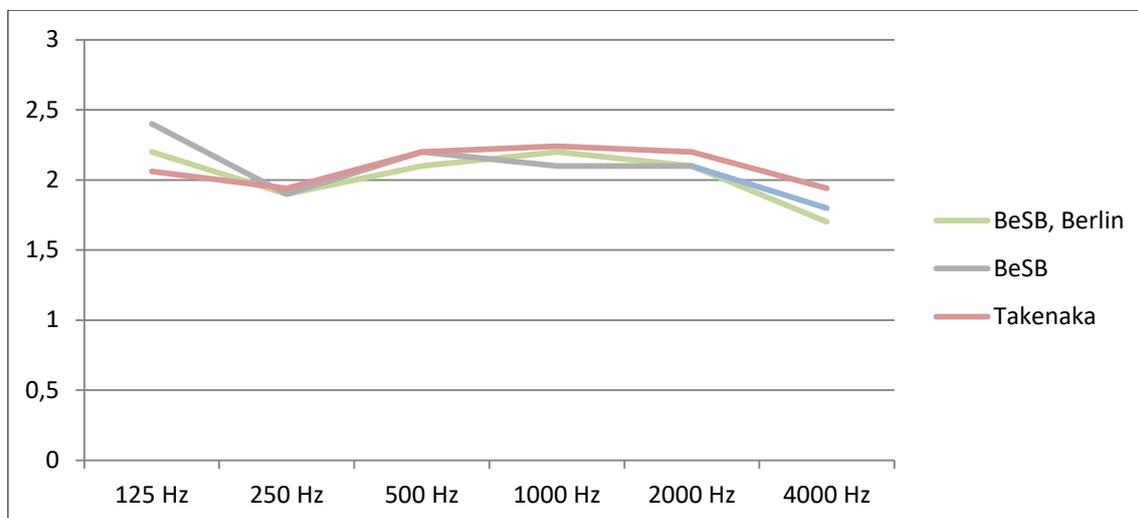
Tabla 04.2.7.2. Tiempos de Reverberación (s) en bandas de octava para la sala llena.

S. ocupada	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	300 mús. y coro	1964	2.40	2.00	1.90	2.00	1.95	1.70
	Tachibana	1986	1.90	2.00	1.85	1.95	1.90	1.80
	Matsuzawa	1989	2.20	1.81	1.79	1.71	1.71	1.61
	BeSB, 80%ocup.	1992	2.20	1.90	1.90	2.00	1.80	1.50
	Selección:		2.10	1.85	1.85	1.95	1.80	1.60

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

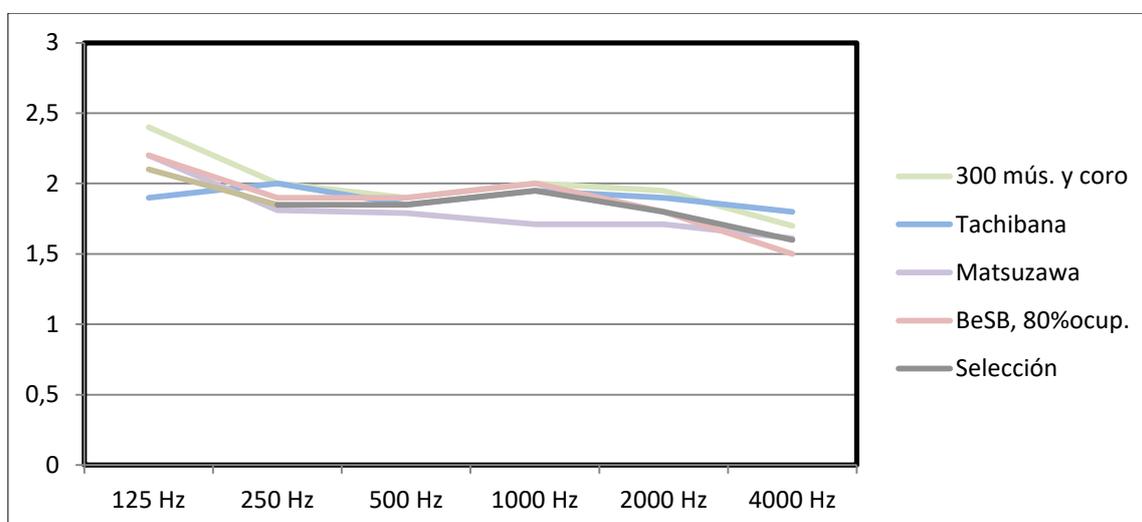
Para cada estudio, se puede representar gráficamente el resultado por bandas de octava, obteniendo de esta manera la curva tonal, la cual nos indicará el comportamiento de la sala respecto a la frecuencia.

Gráfico 04.2.7.1. Tiempos de Reverberación (s) en bandas de octava para la sala vacía.



Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. *How they sound, concert and opera houses.*

Gráfico 04.2.7.2. Tiempos de Reverberación (s) en bandas de octava para la sala llena.



Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. *How they sound, concert and opera houses.*

En segundo lugar, otro parámetro relacionado con la reverberación es el Early Decay Time (EDT), definido como el tiempo multiplicado por 6 que tarda el sonido en decaer 10 dB después del instante en que la fuente sonora deja de emitir sonido.

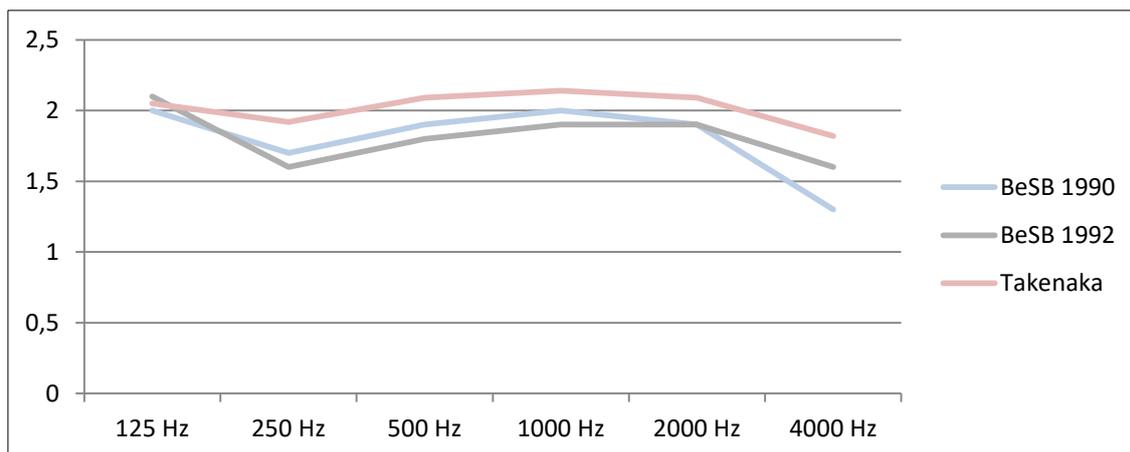
Seguidamente, se adjuntan las mediciones de EDT para la sala vacía según distintos estudios publicados en el libro de Beranek. <sup>(2)</sup>

Tabla 04.2.7.3. EDT (s) en bandas de octava para la sala vacía.

S. Vacía	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	BeSB	1990	2.00	1.70	1.90	2.00	1.90	1.30
	BeSB	1992	2.10	1.60	1.80	1.90	1.90	1.60
	Takenaka	1993	2.05	1.92	2.09	2.14	2.09	1.82

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Gráfico 04.2.7.3. EDT (s) en bandas de octava para la sala llena.



Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Otros parámetros de relevancia relacionados con la reverberación son el equilibrio, la calidez y el brillo. El primero de ellos se corresponde con el tiempo de reverberación medio a frecuencias medias, el segundo está relacionado con la sensación subjetiva de la fuerza en los bajos y el tercero con las frecuencias más altas.

$$RT_{mid} = (RT_{500} + RT_{1000}) / 2$$

$$BR \text{ (calidez)} = (RT_{125} + RT_{250}) / (RT_{500} + RT_{1000})$$

$$Br \text{ (brillo)} = (RT_{2000} + RT_{4000}) / (RT_{500} + RT_{1000})$$

De este modo, tras realizar los cálculos correspondientes en cada estudio se obtienen los siguientes resultados:

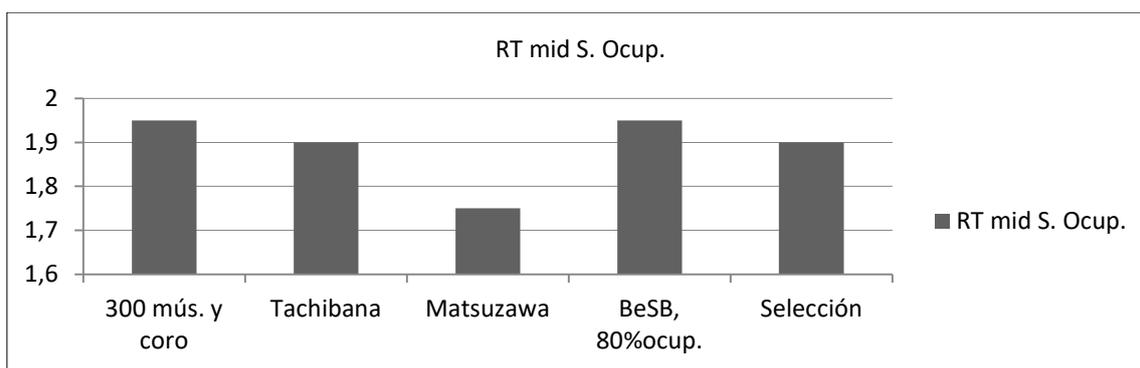
Tabla 04.2.7.4. Equilibrio.  $RT_{mid}$  (s).

S. ocupada	Estudio	Año	$RT_{mid}$
	300 mús. y coro	1964	1,95
	Tachibana	1986	1,9
	Matsuzawa	1989	1,75
	BeSB, 80%ocup.	1992	1,95
	Selección		1,9

Nota: Para el cálculo del  $RT_{mid}$  se ha utilizado la ecuación anteriormente descrita y los RT por bandas de octava expresados en la Tabla 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 04.2.7.3.

Gráfico 04.2.7.4. Equilibrio.  $RT_{mid}$  (s).



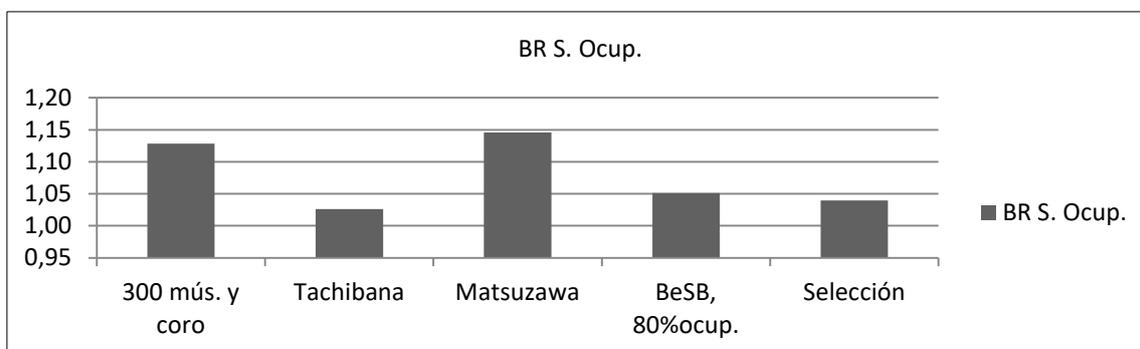
Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 04.2.7.4.

Tabla 04.2.7.5. Calidez. BR (s).

S. ocupada	Estudio	Año	BR
	300 mús. y coro	1964	1,13
	Tachibana	1986	1,03
	Matsuzawa	1989	1,15
	BeSB, 80%ocup.	1992	1,05
	Selección		1,04

Fuente: Para el cálculo del BR se ha utilizado la ecuación anteriormente descrita y los RT por bandas de octava expresados en la Tabla 2.

Gráfico 04.2.7.5. Calidez. BR (s).



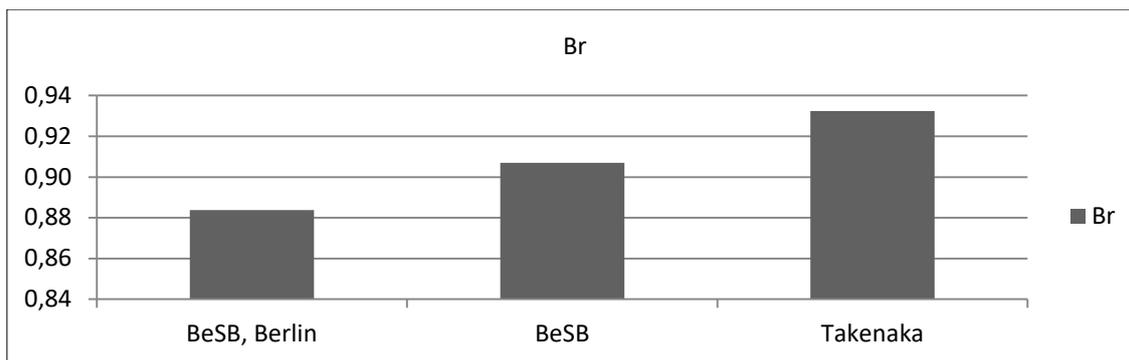
Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 04.2.7.5.

Tabla 04.2.7.6. Brillo. Br (s).

S. ocupada	Estudio	Año	Br
	300 mús. y coro	1964	0,94
	Tachibana	1986	0,97
	Matsuzawa	1989	0,95
	BeSB, 80%ocup.	1992	0,85
	Selección		0,89

Fuente: Para el cálculo del Br se ha utilizado la ecuación anteriormente descrita y los RT por bandas de octava expresados en la Tabla 2.

Gráfico 04.2.7.6. Brillo. Br (s).



Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 04.2.7.6.

Para concluir este apartado, es necesario complementar la información sobre la reverberación con el parámetro de Sonoridad, G. Esta medida es la proporción, expresada en decibelios, de la energía del sonido en una butaca de la sala que viene de una fuente no direccional y la energía de sonido que viene de la misma fuente pero medida en una cámara anecoica a una distancia de 10 metros.

Tabla 04.2.7.7. Sonoridad. G (dB).

S. Vacía	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	Takenaka	1993	4.20	3.40	4.90	4.90	4.10	3.70

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Además, es de interés calcular el factor de Sonoridad para las frecuencias medias ( $G_{mid}$ ) y para las frecuencias bajas ( $G_{low}$ ).

Tabla 04.2.7.7.  $G_{mid}$  y  $G_{low}$  (dB).

Sala de conciertos	(EDT/V) x 10 <sup>-6</sup>	$G_{low}$ (dB)	$G_{mid}$ (dB)	$G_{low} - G_{mid}$
Filarmónica de Berlín	100	3,2	4,3	-1,1

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 8: Reverberance, Brilliance, and warmth" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

- (1) BARRON, MICHEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spon press
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (3) Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.

## 04.2.8 Claridad

La claridad, junto a la intimidad y textura (definidos en los siguientes apartados), son unos parámetros subjetivos difíciles de calcular sin simulaciones con ordenador. El primero de ellos, la claridad, muestra el grado de separación entre los distintos sonidos y está directamente relacionado con la comprensión auditiva. La adecuada claridad para un tipo de música depende de varios factores como puede ser de las decisiones del propio compositor en cuanto al tempo o la repetición de tonos en una misma frase, del músico y de su manera de interpretar un pasaje y de los parámetros acústicos de la misma sala.

El parámetro para medir acústicamente la claridad es la relación de la energía entre el sonido temprano que llega antes de los 80 ms y la del sonido reverberante, llamada  $C_{80}$  (dB). Un valor alto positivo significará mucha claridad (salas secas) mientras que un valor negativo significará una pérdida de claridad en beneficio de la reverberación (salas vivas). Cuando sea 0, la energía del sonido temprano y la de la reverberación serán iguales.

Tabla 04.2.8.1. Claridad.  $C_{80}$  (dB) para la sala vacía.

S. Vacía	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	BeSB	1990	-	-	0.70	0.70	0.70	-
	Takenaka	1993	-2.20	-0.70	-0.70	-0.40	-0.56	0.00

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

- (1) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 3: Acoustics and musical qualities" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 12: Clarity, Intimacy, and Texture" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (3) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (4) Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.

## 04.2.9 Intimidad (ITDG)

El parámetro acústico de la intimidad está relacionado con la sensación de a pesar de estar en una gran sala de conciertos oír la música como si se estuviera en una sala pequeña, íntima. Michel Barron la define como "El grado de identificación entre el oyente y la actuación musical, si el oyente se siente acústicamente envuelto o separado de la música." (2)

El parámetro acústico utilizado para medir la intimidad se denomina Initial-time-delay gap (ITDG). Se define como el intervalo de tiempo en milisegundos entre la llegada de sonido directo y la llegada de la primera reflexión en la butaca central del patio de butacas que es la situación más desfavorable respecto a esta sensación.

Tabla 04.2.9.1. Initial-time-delay gap. ITDG (ms).

Sala de conciertos	No. asientos	RT Ocup. Mid-freq. (s)	$C_{80}$	ITDG (ms)
Filarmónica de Berlín	2335	1.90	-0.50	21

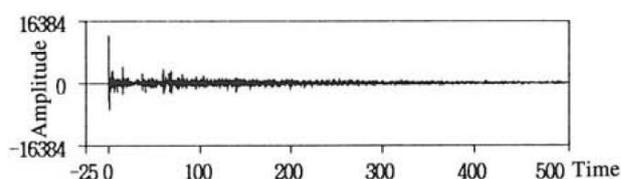
Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 12: Clarity, Intimacy, and Texture" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

- (5) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 12: Clarity, Intimacy, and Texture" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (6) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 1" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (7) BARRON, MICHEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spon press
- (8) Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.

### 04.2.10\_Textura

La textura es la impresión subjetiva que los oyentes derivan de los patrones en los que la secuencia de las primeras reflexiones sonoras llega a sus oídos. Una buena textura requiere una cantidad alta de reflexiones tempranas y que ninguna de éstas domine sobre las otras.

Figura 04.2.10.1. Mediciones textura.



Fuente: HIROSHI KOWAKI. *Survey of the Acoustics of Concert Halls in European Countries*.

La figura anterior muestra las medidas tomadas en la Filarmónica de Berlín. Se puede observar una primera línea vertical que indica el sonido directo que llega por primera vez al micrófono. Los diferentes picos a lo largo de la medición son las reflexiones que se producen en las paredes laterales, balcones, techo, etc.

- (1) HIROSHI KOWAKI. *Survey of the Acoustics of Concert Halls in European Countries*.
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 2: Seeking a common language for musicians and acousticians" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

### 04.2.11\_IACC

Interaural Cross-Correlation Coefficient (IACC) está relacionado con la energía relativa en las primeras reflexiones laterales que afecta a cada oído del ser humano. Si el sonido en los oídos es completamente diferente, el valor de (1-IACC) será 1, es decir, la correlación entre los sonidos en los dos oídos será 0. Consecuentemente, cuando una onda de sonido llega perfectamente perpendicular en la cabeza, entrará por igual en los oídos, produciéndose una correlación de 1 y un valor de (1-IACC) de 0. En sentido contrario una reflexión proveniente de un lateral da dos señales muy diferentes en ambos oídos dando una baja correlación entre ellas.

En la siguiente tabla se muestran distintas mediciones de este índice.

Tabla 01.2.11.1. Interaural cross-correlation coefficient. IACC (ms).

S. Vacía	Estudio	Año	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	Takenaka	1993	0.93	0.76	0.31	0.22	0.27	0.27
	Takenaka	1993	0.96	0.88	0.60	0.50	0.53	0.45
	Takenaka	1993	0.90	0.68	0.18	0.11	0.10	0.08

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Consecuentemente, es posible calcular el valor de  $[1-IACC_{E3}]$ , siendo  $IACC_{E3}$  la media de este valor entre las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz. Hidaka da un valor de  $[1-IACC_{E3}]$  igual a 0.46 para la Filarmónica de Berlín. <sup>(3)</sup>

- (1) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 11: Spaciousness" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (3) YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 32: Some considerations of interaural cross correlation and lateral fraction as measures of spaciousness in concert halls" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.

## 04.2.12\_Factor Lateral (LF)

Barron y Marshall definen ASW (apparent source width) como "la sensación subjetiva asociada con las reflexiones laterales."<sup>(1) (2)</sup> Para medir de manera objetiva esta sensación, se ideó un método con micrófonos capaces de determinar la fuerza relativa de energía en las reflexiones laterales. La relación de salida y entrada de sonidos en los distintos micrófonos se llama Factor lateral, LF (Lateral factor). <sup>(3)</sup>

Para la Filarmónica de Berlín, a partir del valor de  $1-IACC$  se deriva un factor de energía lateral de 0,11.

Tabla 04.2.12.1. Valores de  $(1-IACC)$  y  $LF_{E4}$  para las distintas categorías de salas de concierto.

Grupo	$(1-IACC)$	$LF_{E4}$
A+, A	0.66 0.62-0.71	0.18 0.17-0.23
<b>B±</b>	<b>0.55</b> <b>0.46-0.61</b>	<b>0.16</b> <b>0.11-0.20</b>
B, C+	0.41 0.41-0.44	0.12 0.10-0.14

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 11: Spaciousness" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

- (1) YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 15: Historical background of concert hall acoustics in Japan" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.
- (2) BARRON, M & MARSHALL, A.H. (1981). *J. Sound Vib.* 77,211.
- (3) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 11: Spaciousness" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

### 04.2.13\_Soporte. ST1

Para medir el soporte que proporciona la sala de conciertos a los músicos situados el escenario, Gade (1989) propone una medida objetiva llamada ST1. Este parámetro se mide sin músicos en el escenario pero con las sillas y percusión en su sitio, midiendo desde la posición del solista, el centro de las cuerdas del lado derecho y la segunda fila de vientos situada en la parte izquierda. <sup>(1)</sup> De este modo, se posiciona un micrófono a 1 metro de distancia del escenario que mide la energía en dB que es reflejada por las superficies inmediatas. La diferencia entre esta energía y la que es enviada por las fuentes de sonido no direccionales es el valor de ST1. <sup>(2)</sup>

Beranek <sup>(2)</sup> establece un valor de ST1 igual a -16,8 dB en la Filarmónica de Berlín, medido en los 100 primeros mili segundos en un rango de 250 hasta 2000 Hz.

- (1) WILLIAM J. CAVANAUGH AND JOSEPH A. WILKES. (1999). *Architectural acoustics: Principles and practice*. Canada: JWS
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 17: Architectural factors of concert halls" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

## 05\_EVALUACIÓN DE LA ACÚSTICA DE LA FILARMÓNICA DE BERLÍN

Para finalizar el análisis acústico de la Filarmónica de Berlín, en los siguientes apartados se aportan una serie de conclusiones sobre los parámetros estudiados anteriormente, basándose en los mínimos y máximos valores requeridos para las salas de concierto. Posteriormente, se adjuntan extractos de artículos que contienen los problemas principales sobre la acústica de la Filarmónica así como las críticas y opiniones subjetivas encontradas.

### 05.1\_Análisis de resultados

Este apartado se organiza en torno al análisis realizado en el apartado "04.2. Análisis de la acústica de la Filarmónica de Berlín" y todos sus subapartados, comentándose cada uno de ellos con el mismo orden de estudio, empezando por las características geométricas y finalizando con los diferentes parámetros acústicos mencionados. Para poder realizar las correspondientes conclusiones, se atenderá a la clasificación de la Filarmónica según su calidad acústica, grupo B+ en el raking de Beranek. <sup>(8)</sup>

Esta clasificación fue desarrollada por el acústico Leo Beranek tras un detallado estudio de 66 salas de concierto, 32 de las cuales aparecen en el ranking. Para su realización, se entrevistó a músicos, críticos y aficionados de la música y posteriormente se correlacionaron las medidas acústicas con las opiniones de las encuestas.

El ranking está compuesto por 6 categorías: A+ (Superior), A (Excelente), B+ (Bien a Excelente), B (Bien), C+ (Justa a Bien) y C (Justa). <sup>(8)</sup>

#### Características geométricas:

La geometría de una sala y su tamaño están ligados directamente con el número máximo de butacas impuestas desde el principio del proyecto <sup>(2)</sup>. Este será el factor que determine la profundidad, la longitud, la altura y la organización del público frente o entorno al escenario, necesitando un mínimo y máximo de superficies capaces de absorber o reflejar el sonido.

De esta manera, la relación en la Filarmónica entre el volumen y espectadores (V/N) es de 9 m<sup>3</sup>/espectador, valor adecuado para una sala de conciertos (entre 6 y 10 m<sup>3</sup>/ espectador)<sup>(1)</sup>.

Respecto al área ocupada por el escenario (S<sub>0</sub>), Barron <sup>(3)</sup> establece un área de 150 m<sup>2</sup> para una orquesta de 100 músicos. Actualmente la Orquesta Filarmónica de Berlín está compuesta por una plantilla de 128 músicos <sup>(4)</sup>, por lo que el escenario de 172,5 m<sup>2</sup> tiene una dimensión acorde con su tamaño.

La distancia máxima D entre el centro del escenario y el espectador más lejano es de 30 m, valor que supera levemente la longitud recomendada para este tipo de salas, la cual puede oscilar entre 20-28 m <sup>(1)</sup>. Sin embargo, para la capacidad de espectadores que tiene la sala, es un valor admisible que se consigue gracias a la disposición de las butacas rodeando la orquesta, disminuyendo esta distancia respecto a la disposición tradicional de "caja de zapatos".

#### Los antepechos y las paredes laterales

Tras analizar la acústica geométrica en las figuras del apartado 04.2.2 se puede apreciar el correcto funcionamiento del conjunto de superficies que forman las paredes y antepechos de la sala.

En la “Figura 04.2.2.1. Reflexiones producidas por los antepechos en el entorno inmediato al escenario” se observa que las reflexiones producidas por estas paredes reflejan directamente al escenario, proporcionando la mayoría de las reflexiones primerizas que necesitan los músicos para oírse entre ellos y poder trabajar conjuntamente de una manera más cómoda. Una parte reducida de estas reflexiones también llega a las esquinas de las primeras filas de butacas.

Respecto a la “Figura 04.2.2.2. Reflexiones producidas por los antepechos de los niveles superiores” se verifica que todo el conjunto de paredes que van formando las terrazas escalonadas y girando de ángulo funcionan como reflectores del sonido hacia las diferentes zonas del público.

Tanto la “Figura 04.2.2.3. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 1” como en las siguientes, “Figura 04.2.2.4. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 2” y “Figura 04.2.2.5. Reflexiones producidas por las paredes fondo sala 3” se muestran las reflexiones que producen los dos fondos opuestos de la sala. El primero de ellos proporciona reflexiones a la audiencia de los laterales, los cuales tienen más problemas para recibir el sonido directo de los instrumentos que presentan direccionalidad. Sin embargo, el fondo de sala opuesto a éste dirige las reflexiones a las zonas situadas detrás de la orquesta y a toda la sala en general, al ser la pared trasera perpendicular al escenario.

Finalmente, en la “Figura 04.2.2.6. Reflexiones producidas por los antepechos y paredes fondo sala en sección” se analizan todas las reflexiones que producen los antepechos seccionados en la sección elegida. Debido a que van cambiando constantemente de inclinación y ángulo en planta, hay múltiples paredes reflectantes con distintas finalidades. Se puede observar que algunas reflexiones están direccionadas directamente hacia el techo de la sala, otras a la zona del escenario y otras a las zonas de butacas situadas enfrente.

Por lo tanto, el objeto de la distribución en terrazas y sus antepechos es proporcionar una mejor sensación de intimidad (por la subdivisión del público y la llegada siempre de reflexiones rápidas de los antepechos a cualquier espectador mejorando el ITDG ) y favoreciendo la impresión espacial, (favoreciendo las reflexiones de los laterales).

## **El techo de la sala**

La solución propuesta para el techo de la sala en forma de “tienda de campaña” o “carpa” es el elemento reflectante más importante de todo el conjunto, ya que gracias a él la totalidad de audiencia recibe reflexiones.

El primer tramo, correspondiente a la zona izquierda de la sección de la “Figura 04.2.3.1. Reflexiones en el primer tramo de techo convexo” cubre prácticamente toda la sala, proporcionando reflexiones a todos los patios de butacas. El segundo tramo, correspondiente a la zona derecha de la sección de la “Figura 04.2.3.2. Reflexiones en el segundo tramo de techo convexo” funciona en los alrededores inmediatos del escenario, quedando las últimas filas de butacas situadas delante de la orquesta sin recibir reflexiones directamente de esta superficie del techo.

Además, en las últimas figuras, “Figura 04.2.3.5. Reflexiones producidas por panel 1” y “Figura 04.2.3.6. Reflexiones producidas por panel 2”, se aprecia el correcto funcionamiento de los paneles reflectantes (nubes) situados en el centro del escenario para evitar los ecos de la superficie cóncava del techo de la sala. Éstos se encargan de proporcionar las reflexiones necesarias a los propios músicos en el escenario, favoreciendo el soporte acústico recibido por las paredes inmediatas al escenario comentadas anteriormente.

Por lo tanto, se observa que la sala queda totalmente cubierta con las reflexiones producidas mayoritariamente por el techo en forma de “carpa” y secundariamente por los antepechos, paredes y reflectores que acompañan los distintos niveles de los que está compuesta la sala. Las nubes acústicas ayudan a, manteniendo una adecuada reverberación, dirigir una reflexión más rápida que la proveniente del techo de la sala.

### **La absorción de la sala. Los resonadores, las butacas y la audiencia.**

En este apartado, se procede a comparar las diferentes absorciones que proporcionan por un lado la audiencia y por otro lado las butacas. Tras la búsqueda bibliográfica no se han podido obtener valores numéricos sobre la absorción de los resonadores Helmholtz dispuestos a lo largo del techo de la sala.

En el “Gráfico 04.2.4.1. Coeficientes de absorción de las butacas y la audiencia” se comparan los coeficientes de absorción por frecuencias de las butacas y la audiencia, siendo los primeros mayores para las frecuencias bajas pero menores para las frecuencias altas. Es decir, las butacas proporcionarían una mayor absorción frente a frecuencias bajas mientras que la audiencia proporciona una mayor absorción frente a las frecuencias altas. En cualquier caso el grado de ocupación de la sala no llega a repercutir negativamente en los valores de la Calidez y el Brillo ya que en sala ocupada mejora la Calidez y no llega a bajar el Brillo por debajo del límite adecuado.

### **Visibilidad**

En la “Figura 04.2.5.1. Visibilidad” se muestra la visibilidad de la sala, en la cual se puede apreciar que todas las localidades tienen una correcta visión, sin interferencias visuales y auditivas de ningún tipo debido a la creciente inclinación de las terrazas.

### **Aislamiento exterior**

La sala no presenta problemas de aislamiento a ruido exterior debido al diseño constructivo de la cubierta, ya que se crea una gran cámara de aire intermedia que es capaz de evitar el ruido proveniente del exterior, formando una “box-in-box”.

### **Reverberación**

Dentro de este apartado, se han estudiado varios parámetros que están directamente relacionados con la reverberación, ya que se trata de uno de las medidas más influyentes en la acústica de las salas de concierto.

Siguiendo los estudios publicados en el libro de Beranek <sup>(6)</sup>, los tiempos de reverberación según la frecuencia tienen un valor menor para la sala llena que vacía debido a la absorción que produce el público. De esta manera, el tiempo de reverberación medio a frecuencias medias (500 Hz y 1000 Hz) es de 1,90 (Tabla 04.2.7.4. Equilibrio.  $RT_{mid}$  (s)) segundos para la sala ocupada, valor superior a la media calculada con las demás salas de concierto pertenecientes a la misma categoría (B+) que la Filarmónica de Berlín. <sup>(5)</sup>

Tabla 05.1.1. Valores medios de RT a frecuencias medias según clasificación de la sala.

Categoría	RT frecuencias medias (s)	Rango de RT (s)
A+, A	1,90	1,80 a 2,05
<b>B+</b>	<b>1,70</b>	1,20 a 2,20
B, C+	1,50	1,25 a 1,85
Media:	1,70	1,20 a 2,20

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 8: Reverberance, Brilliance, and Warmth" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Según Beranek <sup>(5)</sup>, el tiempo de reverberación óptimo que debe tener una sala de conciertos es del orden de 1,90 a 2,00 segundos a medias frecuencias, por lo que la Filarmónica de Berlín estaría entre estos valores. Sin embargo, si se compara el valor obtenido de  $RT_{mid}$  con otras salas de concierto con una capacidad de público similar a la Filarmónica (más de 1400 personas), se observa que la sala queda por debajo de la media.

Tabla 05.1.2. Valores medios de RT a frecuencias medias para salas de más de 1400 espectadores.

Concert Hall	RT (s)	Categoría
Meyerson/McDermott Concert Hall, Dallas	2,80	
De Doelen Concertgebouw, Rotterdam	2,05	
Konzerthaus (Schauspielhaus), Berlin	2,00	A
Grosser Musikvereinsaal, Viena	2,00	A+
Gewandhaus, Leipzig	2,00	
St. David's Hall, Cardiff, Wales	1,95	A
Grosser Tonhalleaal, Zurich	2,05	A
Concertgebouw, Amsterdam	2,00	A+
<b>Philharmonie Hall, Berlin</b>	<b>1,90</b>	<b>B+</b>
Symphony Hall, Boston	1,85	A+
Carnegie Hall, New York	1,80	A
Stadt-Casino, Basel	1,80	A
Segerstrom Hall, Costa Mesa	1,60	
Media:	2,00	

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 8: Reverberance, Brilliance, and Warmth" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

No obstante, este valor es mayor que las salas de concierto que pertenecen a su misma categoría, aproximándose e igualándose a valores de otras salas con clasificación superior. Se podría decir que la Filarmónica de Berlín pertenece a un tipo de sala "viva" frente a las salas "secas" (con valores inferiores de tiempo de reverberación).

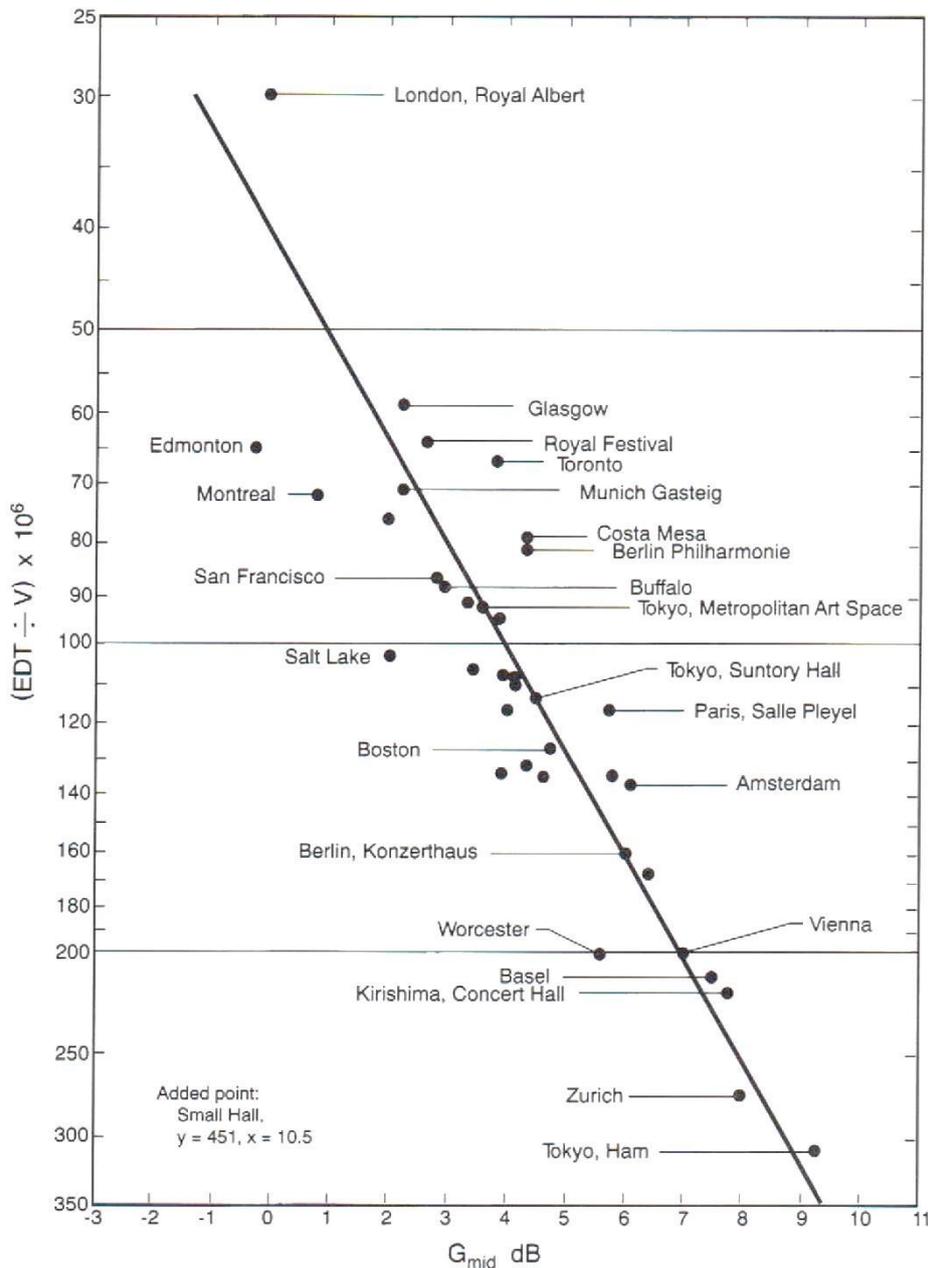
Para finalizar con el valor de  $RT_{mid}$ , es conveniente comentar que también existe una valoración subjetiva de esta medida relacionada con el tipo de música interpretada. Según el estilo de música (clásica, barroca, romántica,...), el tiempo de reverberación favorecerá a la acústica de la sala o no. Es por eso que la música clásica y barroca requieren un tiempo de reverberación menor (entre 1,60 y 1,80 segundos) <sup>(1)</sup> debido a la necesidad de que las notas musicales se escuchen con cierta claridad y sin mucha reverberación, mientras que la música sinfónica del período romántico sí admite un mayor tiempo de reverberación (entre 1,90 y 2,00 segundos). Por lo tanto, la Filarmónica será capaz de admitir con comodidad estos estilos de música, dejando los grupos de cámara que necesitan una reverberación mucho menor en su Sala de Cámara (junto al edificio de la Filarmónica).

El tiempo de reverberación, además, está relacionado con otros dos parámetros de gran importancia como son la Calidez (BR) y el Brillo (Br). Atendiendo a los valores obtenidos tras el cálculo, la sala presenta un valor de Calidez de 1,04 (Tabla 04.2.7.5.), valor inferior al recomendado por Beranek <sup>(5)</sup> entre 1,10 y 1,25 para salas con un tiempo de reverberación superior a 1,80 segundos. Sin embargo, el Brillo de la sala tiene un valor de 0,89 que se encuentra dentro de las recomendaciones de que éste sea mayor que 0,87.

Esto significará que la Filarmónica de Berlín puede presentar en algunas ocasiones una absorción de bajos superior a la deseada debido a su valor de Calidez, aunque Beranek <sup>(5)</sup> afirma que este parámetro no es muy determinante a la hora de hacer la clasificación por categorías, ya que no hay una correspondencia entre clasificación y valor de calidez.

Para completar la información sobre los bajos de la sala, el parámetro de la Sonoridad indica la diferencia entre la energía de las frecuencias bajas y medias ( $G_{low} - G_{mid}$ ). En el caso de la Filarmónica, el valor de esta diferencia es negativo, por lo que las frecuencias medias adquirirán mayor importancia en la sala. Actualmente no existe ninguna conclusión escrita sobre valores óptimos de este parámetro, ya que se mide siempre con la sala vacía. Sin embargo, si se puede establecer una cierta relación entre el parámetro  $(EDT/M) \times 10^6$  y  $G_{mid}$ .

Figura 05.1.1. Relación de  $(EDT/M) \times 10^6$  y  $G_{mid}$  para 38 salas de concierto.



Fuente: BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 9: Loudness, Optimum Hall Size, and Design of halls to specification" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Finalmente, el último parámetro relacionado con la reverberación de la sala, es el EDT (Early Decay Time). A comparación con el tiempo de reverberación, este parámetro no varía tanto de valor para la sala llena y vacía. Sin embargo, sí que existe un mayor rango de valores entre las distintas categorías debido a la variedad de modelos de butacas que influyen mucho en la absorción de la sala.

Tabla 05.1.3. Valores medios de EDT a frecuencias medias para la sala vacía.

Categoría	EDT frecuencias medias (s)	Rango de EDT (s)
A+, A	2,45	2,10 a 3,10
<b>B±</b>	<b>2,00</b>	1,70 a 2,60
B, C+	1,80	1,40 a 2,15
Media:	2,00	1,40 a 3,10

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 8: Reverberance, Brilliance, and Warmth" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Analizando la tabla anterior y teniendo en cuenta que la Filarmónica de Berlín es una sala de conciertos con las butacas tapizadas, tiene un EDT a medias frecuencias de 1,97 segundos, valor que se encuentra dentro del rango para una categoría B+, aunque aproximándose desde un valor inferior a la media.

### Claridad C80

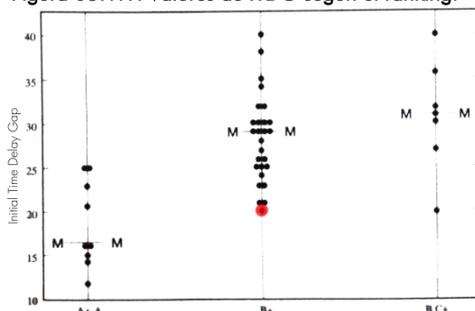
Para analizar este parámetro es necesario recurrir a conclusiones que tienen aspectos más subjetivos ya que depende de la situación se preferirán diferentes grados de claridad. Así, en los ensayos, los directores de orquesta suelen preferir valores de Claridad altos y positivos para poder escuchar claramente los detalles de cada frase musical. Sin embargo, para el momento del concierto suele preferirse un espacio más reverberante y por tanto, con un índice de Claridad  $C_{80}$  con valor negativo.

En este aspecto, según la "Tabla 04.2.8.1. Claridad.  $C_{80}$  (dB) para la sala vacía", la Filarmónica de Berlín cuenta con dos mediciones publicadas con diferentes valores, unos en positivo y otros en negativo. Haciendo una media de ambos, la claridad de la sala variará desde -2,20 a bajas frecuencias hasta valores próximos a 0 en medias y altas frecuencias. Por lo tanto, puede concluirse que la sala tiende más a ser reverberante que clara, clasificada como "sala viva".

### Intimidad (ITDG)

La intimidad valorada a partir del ITDG (Initial Time Delay Gap) es uno de los parámetros más importantes relacionado, sobre todo, con el tamaño de la sala. Para el valor obtenido por Beranek <sup>(9)</sup> para la Filarmónica de Berlín de 21 ms, se observa en la siguiente figura que es inferior a la media para la categoría B+, aproximándose más a categorías superiores.

Figura 05.1.1. Valores de ITDG según el ranking.



Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 12: Clarity, Intimacy, and Texture" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

La mayor intimidad respecto a las demás salas de su categoría, podría ser debido a la variedad de superficies y antepechos que van formando las terrazas al variar su nivel y ángulo constantemente. Esto hace que el espectador tenga las primeras reflexiones muy próximas al sonido directo recibido.

## IACC

El IACC (Interaural Cross Correlation) tiene relación con las reflexiones laterales y la sensación que éstas producen según el oído en que las percibimos. Este valor será una cifra muy importante a la hora de la clasificación acústica de Beranek.

De esta manera, Beranek <sup>(6)</sup> recopila los diferentes estudios de Takenaka realizados en la Filarmónica de Berlín a lo largo de un mismo año, para los cuales se establecen IACC próximos a la unidad en las frecuencias bajas y valores más bajos para las frecuencias altas. Es decir, el sonido entrará prácticamente perpendicular al eje de la cabeza humana en las frecuencias bajas (sonido más difuso y por tanto proveniente de todas direcciones), escuchando por igual con los dos oídos, mientras que para las frecuencias altas se producirá todo lo contrario (sonido más direccional y por tanto más afectado por la geometría de la sala y las reflexiones de los laterales).

En comparación con las demás categorías, el valor asignado de [1-IACC] para la Filarmónica de 0,46 es más próximo a los valores medios de las salas de concierto clasificadas como B o C+.

Tabla 05.1.4. Valores medios de [1-IACC<sub>E3</sub>] para las diferentes categorías.

Categoría	(1-IACC)	Rango de (1-IACC)
A+, A	0,66	0,62 a 0,71
<b>B±</b>	<b>0,55</b>	0,46 a 0,61
B, C+	0,41	0,41 a 0,44

Fuente: Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 11: Spaciousness" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

## Soporte:

Mediante el análisis de este parámetro, se puede apreciar que la calidad acústica que caracteriza a la audiencia de una sala no es proporcional a la calidad acústica que reciben los músicos en el escenario. Para estudiar la influencia de ST1 en la Filarmónica de Berlín, se comparará su valor con otras salas de concierto con la misma clasificación acústica (B+) según Bernanek <sup>(2)</sup>.

Tabla 05.1. Valores de ST1 en distintas salas de concierto.

Localización y nombre de la sala	ST1 (dB)
Baltimore, Joseph Meyerhoff Hall	-12,2
Salt Lake, Utah, Symphony Hall	-12,9
Costa Mesa, Segerstrom Hall	-14,3
Copenhagen, Radiohuset, Studio 1	-15,5
Stuttgart, Liederhalle, Grosser Saal	-14,5
Cleveland, Severance Hall	-14,8
Salzburg, Festspielhaus	-15,8
London, Royal Festival	-16,0
Worcester, MA, Mechanics Hall	-16,1
<b>Berlin, Philharmonie Hall</b>	<b>-16,8</b>
Munich, Philharmonie am Gasteig	-18,0
Wasington, Kennedy Concert Hall	-18,1

Fuente:Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 17: Architectural Factors in the design of concert halls" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Los factores que más influyen en la medida de ST1 son la disposición de las superficies reflectantes en cada sala como son el techo, los paneles, las paredes traseras y laterales inmediatas al escenario y la disposición de la audiencia entorno a él.

Como se ha visto anteriormente, la Filarmónica de Berlín tiene una organización de la audiencia en distintos ángulos y niveles rodeando el escenario central. Esto tendrá sus ventajas y desventajas, ya que comparada con las demás salas de conciertos, el público que rodea a la orquesta impide que parte del sonido pueda ser reflejado por las paredes laterales y traseras. Sin embargo, el diseño acústico de la sala dispone de paneles colgantes encima del escenario y antepechos en cada nivel de butacas que refuerzan esta falta de reflexiones.

Atendiendo a la tabla adjunta en este apartado, la Filarmónica tiene un ST1 bastante alto comparado con las demás salas de concierto de su misma clasificación acústica. Esto significa que los músicos tienen un soporte menor y por lo tanto una sensación de comunicación entre ellos mismos menor que en el resto de salas analizadas, la mayoría de ellas con formas más tradicionales respondiendo a la tipología en que el escenario está situado en un extremo de la sala.

- (1) Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 17: Architectural Factors in the design of concert halls" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (3) BARRON, MICHAEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spoon press.
- (4) <<https://www.berliner-philharmoniker.de/orchester/>> [Consulta: 19 de Julio de 2017]
- (5) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 8: Reverberance, Brilliance, and Warmth" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (6) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 4" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (7) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 9: Loudness, Optimum Hall Size, and Design of halls to specification" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (8) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 5: World concert halls ranked" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (9) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 12: Clarity, Intimacy, and Texture" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (10) Fuente: YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited

## 05.2 Críticas

A continuación, se procede a realizar una recopilación de los artículos y libros encontrados en los que aparece la Filarmónica de Berlín, comentada o clasificada por alguno de sus parámetros o sujeta a críticas de tipo subjetivo.

En primer lugar, se adjunta la clasificación de las salas de concierto más importantes a nivel mundial realizada tras los estudios de Beranek, en la que se establecen 6 categorías: A+ (Superior), A (Excelente), B+ (Bien a Excelente), B (Bien), C+ (Justa a Bien) y C (Justa).<sup>(2)</sup>

Tabla 05.2.1. Ranking salas de concierto.

Categoría A+	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
Amsterdam, Concertgebouw	2037	18780	2,00	2,60	1,08
Boston, Symphony Hall	2625	18750	1,85	2,40	1,03
Vienna, Gr. Musikvereinsaal	1680	15000	2,00	3,00	1,11

Categoría A	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
Basel, Stadt-Casino	1448	10500	1,80	2,20	1,17
Berlin, Konzerthaus (Schauspielhaus)	1575	15000	2,05	2,40	1,23
Cardiff, St. David's Hall	1955	22000	1,95	2,10	0,96
New York, Carnegie Hall	2804	24270	1,80	-	1,15
Tokio, Hamarikyō Asahi Hall	552	5800	1,70	1,80	0,94
Zurich, Grosser Tonhalleaal	1546	11400	2,20	3,10	1,23

Categoría B+	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
Baltimore, Joseph Meyerhoff Hall	2467	21620	2,00	2,30	1,10
<b>Berlin, Philharmonie Hall</b>	<b>2336</b>	<b>26000</b>	<b>1,95</b>	<b>2,10</b>	<b>1,01</b>
Bristol, Coliston Hall	2121	13450	1,70	1,80	1,05
Christchurch, Town Hall	2662	20500	2,10	2,00	1,01
Cleveland, Severance Hall	2101	15690	1,60	1,70	1,12
Copenhague, Radiohuset, Studio 1	1061	11900	1,50	2,00	1,07
Costa Mesa, Segerstrom Hall	2903	27800	1,60	2,20	1,32
Jerusalem, Binvanei Ha'Oomah	3142	24700	1,75	1,85	1,20
Liverpool, Philharmonic Hall	1824	13560	1,50	1,80	1,00
London, Royal Festival	2901	21950	1,50	1,70	1,17
Munich, Philharmonie am Gasteug	2467	29800	1,95	2,10	1,00
New York, Avery Fisher Hall	2742	20400	1,75	1,95	0,93
Paris, Salle Pleyel	2386	15500	1,50	1,85	1,10
Salt Lake, Utah, Symphony Hall	2812	19500	1,70	2,10	1,00
Salzburg, Festspielhaus	2158	15500	1,50	1,85	1,10
Stuttgart, Liederhalle, Grosser Saal	2000	16000	1,60	2,10	1,05
Toronto, Roy Thompson Hall	2812	28300	1,80	1,90	1,11
Washington, Kennedy Concert Hall	2759	19300	1,85	1,75	1,30
Worcester, MA, Mechanics Hall	1343	10760	1,55	2,15	1,16

Categoría B	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
Chicago, Orchestra Hall	2582	18000	1,25	1,50	1,15
Edmonton, Alberta Jubiles Aud.	2731	21500	1,40	1,40	0,96
Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier	2982	26500	1,65	1,90	1,11
San Francisco, Davies Hall	2743	24070	1,85	2,15	1,19
Tel Aviv, F.R., Mann Auditorium	2715	21240	1,55	1,70	0,98

Categoría C+	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
Bloomington, Indiana U. Auditorium	2376	26900	1,40	1,40	0,96
Buffalo, Kleinhans Music Hall	2839	18240	1,30	1,60	1,18
London, Barbican Large Concert Hall	2026	17750	1,75	1,90	1,06

Categoría C	Num. Asientos	Volumen (m <sup>3</sup> )	RT (s) Ocupado	EDT (s) Vacía	BR Ocupado
London, Royal Albert Hall	5080	86650	2,40	2,65	1,13

Fuente: YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited

La Filarmónica de Berlín queda clasificada en la categoría B+ (Bien a Excelente), una situación en el ranking de las más discutidas ya que según el propio Beranek, contiene a las casas de las mejores orquestas del mundo con una reputación local muy elevada. <sup>(2)</sup> De hecho, en el siguiente listado se observa una clasificación basada exclusivamente por músicos y críticos musicales, en la que la Filarmónica asciende a un nivel A.

Tabla 05.2.2. Ranking subjetivo salas de concierto. Músicos y críticos musicales.

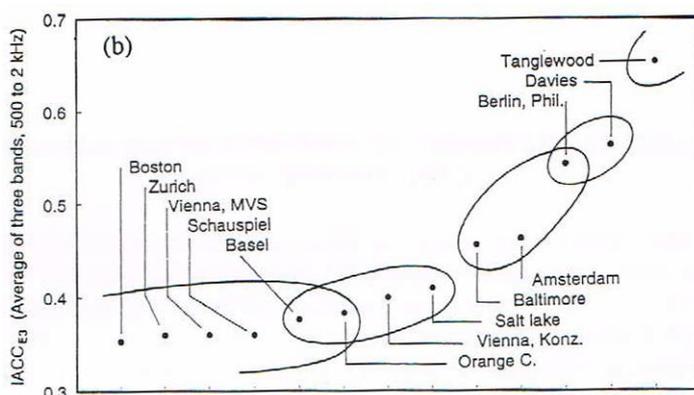
<b>Categoría A+</b>
Boston, Symphony Hall
Vienna, Grosser Musikvereinsaal
Amsterdam, Concertgebouw
<b>Categoría A</b>
Chicago, Orchestral Hall
Cleveland, Severance Hall
New York, Carnegie Hall
Worcester, MA, Mechanics Hall
Berlin, Philharmonie
Munich, Herkulessaal
Cardiff, St. David's Hall
Rotterdam, De Doelen
Zurich, Grosser Tonhalleaal
<b>Categoría B+</b>
*12 salas de concierto no nombradas
<b>Categoría B</b>
Brussels, Palais des Beaux-Arts
Copenhagen, Radiohuset Std #1
Bonn, Beethovenhalle
London, Royal Festival Hall
<b>Categoría C</b>
London, Barbican Concert Hall

Fuente:Elaboración propia a partir de BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 3" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

Por lo tanto, para la clasificación acústica de una sala de conciertos, parece inevitable tener en cuenta la calidad de la orquesta residente.

Otros estudios posteriores a la clasificación de Beranek, resaltan el alto valor de [IACC -1] de la Filarmónica de Berlín. Según Hidaka, 0,46 es un valor suficiente para clasificarla en la categoría B o C+. <sup>(4)</sup> En la figura siguiente puede observarse como la Filarmónica está incluida en dos óvalos distintos. El primero de ellos con las salas de concierto de Baltimore y Amsterdam clasificadas como B+ (al igual que la Filarmónica) y el segundo de ellos con Davies Hall perteneciente a una categoría inferior B.

Figura 05.2.1. Óvalos comparativos según la categoría y  $IACC_{E3}$



Fuente: YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 32: Some considerations of interaural cross correlation and lateral fraction as measures of spaciousness in concert halls" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.

Una vez analizado el ranking de categorías, es de interés comentar el problema principal que presenta la sala de la Filarmónica de Berlín debido a su configuración espacial. Distintos autores de diferentes artículos, como Jones Peter Blundell <sup>(5)</sup>, Daniel E. Sylvester <sup>(6)</sup>, Michael Barron <sup>(7)</sup>, Beranek <sup>(8)</sup>, Jürgen Meyer <sup>(9)</sup>, George Izenour <sup>(19)</sup> entre otros, han detectado que la direccionalidad de algunos instrumentos como el viento metal o las sombras producidas por el cuerpo de los vocalistas, crean una falta de balance en las butacas situadas en los laterales y en la zona trasera del escenario por la falta de balance respecto al sonido directo. Esto crea una zona preferente de audición en las butacas situadas frente al escenario. A pesar de esto, es cierto que las butacas de los laterales y traseras se encuentran más cerca de los músicos y tienen una experiencia más íntima del sonido. Además, también están situados cara a cara con el director, visual que muchas personas valoran.

Relacionado con la organización espacial de la sala, Petter Blundell <sup>(5)</sup> asegura que la experiencia visual una vez dentro de la Filarmónica es realmente remarcable. La falta de perspectiva hace difícil la percepción del tamaño y del espacio. Moviéndose alrededor de la sala, se pueden apreciar la multitud de experiencias visuales que es capaz de proporcionar la organización espacial. Desde la zona delantera central la sala parece más pequeña de lo que es mientras en las zonas laterales se aprecia todo el volumen, pareciendo mucho más grande.

Por otra parte, el escenario compone el centro de la sala. Éste ha tenido que ser modificado en varias ocasiones ya que estaba situado a un nivel muy bajo para la acústica deseada. En verano de 1965 fue elevado por primera vez y en 1975 se procedió a elevarlo con la sección escalonada actual. Una vez realizados los cambios, la acústica de la sala mejoró considerablemente. <sup>(11)</sup>

Encima del escenario están situados los paneles colgantes encargados de proporcionar reflexiones a la zona del escenario sobre todo. Estos reflectores presentaron defectos constructivos en la época de 1980, cuando el yeso de recubrimiento del techo empezó a fallar debido al enganche de las secciones metálicas. Después de muchos debates, todo el techo de la sala fue renovado entre los años 1991 y 1992. <sup>(11)</sup>

Respecto a la posición de los reflectores, los músicos de la Orquesta Filarmónica de Berlín suelen estar de acuerdo en que se oyen mejor entre ellos cuando los paneles están situados a menor altura y las frecuencias altas mejoran en las zonas cercanas al escenario. Sin embargo, el Director Herbert Von Karajan no estaba de acuerdo con esto, él prefería mantener los paneles en posiciones más elevadas y alineados con las extremidades bajas del techo en forma de carpa que compone toda la sala. <sup>(19)</sup>

Finalmente, se concluye este apartado con algunos comentarios de músicos, directores, aficionados, críticos y acústicos, los cuales han tenido diferentes sensaciones y experiencias dentro de la Filarmónica de Berlín.

Beranek <sup>(3)</sup>: comentarios anónimos

*"It has clear resonance, specially suited for contemporary music."*

*"Great acoustic, great sight lines."*

*"Terrible sound. Mozart sounds lost while Beethoven is at home."*

*"Not as good as it should be. Still the best 'suround' hall I know."*

Jones Peter Blundell <sup>(5)</sup>: Crítico

*"The dry lifeless quality which characterizes some of less successful modern concert halls has been completely avoided. Orchestral performances in the Philharmonie sound rich, warm and natural without loss of detail; the music seems to fill the hall and arrive from all directions."*

Michael Barron <sup>(7)</sup>: Acústico

*"Subjectively, the sound is intimate at most seats, providing clarity within a strong sense of reverberation. In front of the stage, the acoustics in many locations are certainly very good. This hall was built before there was any suggestion that lateral reflections were beneficial, so that some seating areas are better served in this respect than others."*

*"The reverberant sound is however highly diffuse, which compensates spatially. One has to admit that as predicted the social advantages are at the expense of some acoustic uniformity, particularly with regard to balance. On one side of the stage the violins are weak, while on the other the double basses become difficult to hear. Balance problems are less severe behind the stage. Yet as a concert experience, the Philharmonie is indeed remarkable."*

Josep Wechsberg <sup>(8)</sup>: violinista

*"I reported that he began to be won over as I went up the twisting stairways from the lobby, and by the end of the evening I was overwhelmed by Scharoun's magnificent vision of the audience around the music and the landscape around the audience while the warm and lyrical music poured over me."*

Pierre Boulez <sup>(8)</sup>: compositor

*"I was excited to begin exploiting the possibilities within a surround hall, and I credited the Philharmonie, saying it that was 'the only hall I know which is conceived on different terms'."*

Anónimo <sup>(8)</sup>: crítico

*"When I have listened to concerts in the building, I have had acoustically perfect seats: the sound was strong and rich, rather too strong; but listeners in seats immediately above the orchestra have complained that the group of instruments nearest them dominated the sound."*

Werner Oehlmann <sup>(12)</sup>: músico crítico

"Just as theatergoers do not want to be able to see the stage lights, not every concertgoer wants to be reminded, by way of a 'visible construction,' that the miracle of sound is a matter of physics and science."

- (1) BERANEK, LEO. (1996). "Appendix 3" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (2) BERANEK, LEO. (1996). "Chapter 5: World concert halls ranked" en *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.
- (3) YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 32: Some considerations of interaural cross correlation and lateral fraction as measures of spaciousness in concert halls" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.
- (4) YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 31: Determination of categories of acoustical quality in concert halls using the interview method" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.
- (5) BLUNDELL, PETER. (1997). *Hans Scharoun*. Londres: Phaidon
- (6) DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (7) BARRON, MICHAEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spoon press.
- (8) BERANEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlin, 1963*.
- (9) MEYER, JÜRGEN. (2009). *Acoustics and the Performance of Music*. Germany: Editorial Board.
- (10) GEORGE C. IZENAOUR. (1996). *Theater Design*. Canada: Mc Graw-Hill, Inc.
- (11) BARKHOFEN, EVA MARIA. (2013). "Space, Humans, Music" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963, Hans Scharoun*. Austin: Center for American Architecture and Design.
- (12) KLAUS GEHRKE. *50 years of Berlin's Philharmonic hall*.  
<<http://www.dw.com/en/50yearssofberlinsphilharmonichall/a17157080>> [Consulta: 2 de Marzo 2017]

## 06\_CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo ha sido recopilar toda la información posible sobre la Filarmónica de Berlín para poder analizarla de manera objetiva, con la finalidad de saber qué calidad de audición tiene. Cabe decir que, durante todo el proceso de análisis, también se han incluido algunos parámetros y opiniones de músicos y críticos con un carácter más personal y subjetivo. No obstante, no existe una mejor o peor opinión acústica sobre una sala de conciertos, ya que ésta va muy ligada a los gustos auditivos de cada individuo.

El análisis ha comenzado con un estudio general sobre el edificio de la Filarmónica de Berlín, empezando por el contexto histórico en que se sitúa, seguido de una descripción arquitectónica y formal del edificio, una construcción orgánica, explotada desde el interior hacia el exterior, generando una organización espacial nueva como sala de conciertos.

El análisis acústico se organiza en 4 partes principales. La primera de ellas ha constado de un estudio basado en las características geométricas de la sala, incidiendo especialmente en todos aquellos elementos que la configuran como son el techo, las paredes laterales y los antepechos. A continuación se han detallado los parámetros acústicos de la sala encontrados en la bibliografía. Posteriormente se han analizado todos estos resultados comparativamente con los valores óptimos para los mismos. Finalmente se han mostrado una serie críticas, positivas y negativas, realizadas entorno a la acústica de la Filarmónica de Berlín para concluir el trabajo.

Tras el estudio y análisis acústico, se puede concluir que la Filarmónica de Berlín, a pesar de haber sido todo un referente histórico y arquitectónico para la construcción de otras salas de concierto posteriores como la Ópera de Sidney (1973) de Utzon y el Disney Concert Hall de Frank Gehry (2003) entre muchas otras hasta las últimas salas inauguradas recientemente como la Philharmonie de Paris de Jean Nouvel (2015) o la Elbphilharmonie de Hamburgo de Herzog & De Meuron (2017), a partir de los valores objetivos de sus parámetros acústicos, queda clasificada como buena a excelente, no perteneciendo por tanto a la más alta categoría, a la que se adscriben las mejores salas de concierto. Sin embargo en opinión de músicos y críticos musicales, la Filarmónica asciende a un nivel superior, llevándola a ser una de las salas de concierto más populares a nivel mundial, quizás debido a su nueva tipología y diseño arquitectónico y a verse muy influenciada por la gran orquesta que reside en el edificio, la Orquesta Filarmónica de Berlín.

Entre los parámetros acústicos analizados, la reverberación y el ITDG la situarían entre las mejores salas de concierto del mundo por su viveza y su intimidad. La falta de calidez, el bajo factor de energía lateral y el relativo bajo soporte a los músicos le hacen bajar a una categoría inferior, situándola entre las salas buenas a excelentes por la falta de refuerzo en graves, la merma de impresión espacial y de soporte en el escenario quizás debido a la situación central de la orquesta.

## 07\_BIBLIOGRAFÍA

ANTÓN CAPITEL. (1992) "Tradición y cambio en la arquitectura y la ciudad de Berlín" en Tradición y cambio de la arquitectura de seis ciudades europeas.

BARKHOFEN, EVA MARIA. (2013). "Space, Humans, Music" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.

BARRON, MICHAEL. (1993). *Auditorium acoustics and architectural design*. Londres: Spoon press.

BARRON, MIKE. (2009). *Then and now-how concert hall design of the 1960s and '70s compares with the present*. University of Bath and Fleming & Barron, Bath, England.

BARRON, M & MARSHALL, A.H. (1981). *J. Sound Vib.* 77,211.

BERAEK, LEO. *Successful experimentation. Philharmonie Hall, Berlín, 1963*.

BERANEK, LEO. (1996). *How they sound, Concert and Opera Halls*. USA: Acoustical Society of America.

DANIEL E. SYLVESTER. (2013). "Consonance & Resonance" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.

GEORGE C. IZENAOUR. (1996). *Theater Design*. Canada: Mc Graw-Hill, Inc.

ENEKO BESA. (2016). *Schauron Versus Gehry: dos opciones metodológicas personales explícitas a partir del análisis de la Filarmónica de Berlín y el Walt Disney Concert Hall*.

ERIK VAN DER PUTTEN. *Building case study Berlin Philharmonic*.

HIROSHI KOWAKI. *Survey of the Acoustics of Concert Halls in European Countries*.

JONES, PETER BLUNDELL (1997). *Hans Schauron*. London : Phaidon.

KLAUS GEHRKE. *50 years of Berlin's Philharmonic hall*.

<<http://www.dw.com/en/50yearsofberlinsphilharmonicall/a17157080>> [Consulta: 2 de Marzo 2017]

MEYER, JÜRGEN. (2009). *Acoustics and the Performance of Music*. Germany: Editorial Board.

O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea.

PONCE DE LEÓN, LUÍS.(2014) < <http://orfeoed.com/melomano/2014/articulos/especiales/el-auditorio-de-la-filarmonica-de-berlin/>> [Consulta: 10 de Julio de 2017]

R.SAITO. (1991). *Yokohama Taisho Yougaku Roman*. Maruzen Library.

VÁZQUEZ ROSADO, MANUEL. *Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a caso práctico*.

WILFRIED WANG. (2013). "The Lightness of Democracy" en *Philharmonie: Berlin 1956-1963*, Hans Schauron. Austin: Center for American Architecture and Design.

WILLIAM J. CAVANAUGH AND JOSEPH A. WILKES. (1999). *Architectural acoustics: Principles and practice*. Canada: JWS

YOICHI ANDO & DENNIS NOSON (1995). "Chapter 15: Historical background of concert hall acoustics in Japan" en *Music and Concert Hall Acoustics*. London: Academic Press Limited.

Apuntes UPV. (2016-2017). *Acústica arquitectónica y urbanística*.

Pinterest. <<https://es.pinterest.com/pin/58195020159494320/>> [Consulta: 10 de Julio de 2017]

<<http://www.semana.com/mundo/articulo/el-muro-de-berlin-el-final-de-una-era/407830-3>> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

< <http://arxiubak.blogspot.com.es/2015/03/hans-scharoun.html>> [Consulta: 11 de Julio de 2017]

<<http://tallerdearquitecturas.blogspot.com.es/2008/06/la-sala-de-conciertos-de-la-orquesta.html>> [Consulta: 27 de Junio de 2017]

<[www.bingmaps.com](http://www.bingmaps.com)> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1041909&page=5>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

<<http://orfeoed.com/melomano/2014/articulos/especiales/el-auditorio-de-la-filarmonica-de-berlin/>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

< <http://eduplanetamusical.es/tag/simon-rattle/>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

< <http://footage.framepool.com/en/shot/696043774-kammermusiksaal-tiergartenviertel-berliner-filharmonie-hans-scharoun>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

<<https://www.berliner-philharmoniker.de/orchester/>> [Consulta: 19 de Julio de 2017]



## ANEXO GRÁFICO

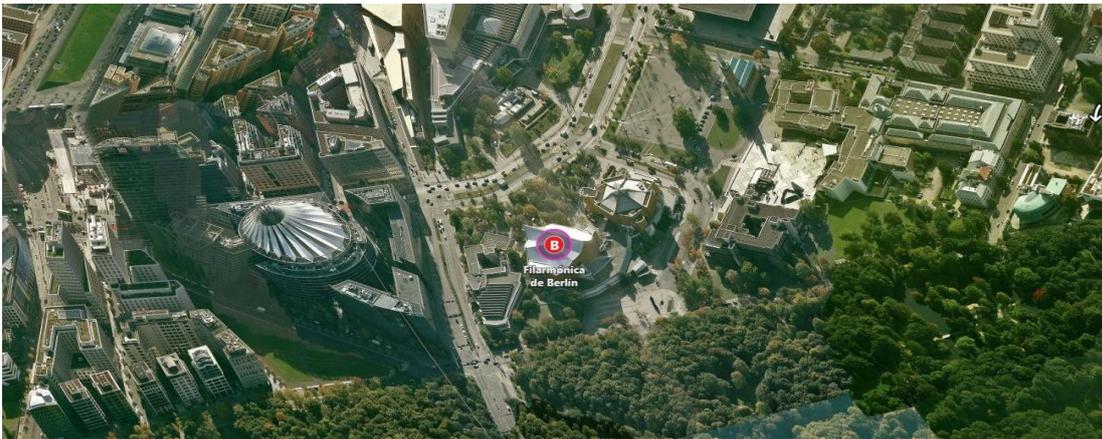
## Imágenes

Imagen 1. Ubicación. Planta



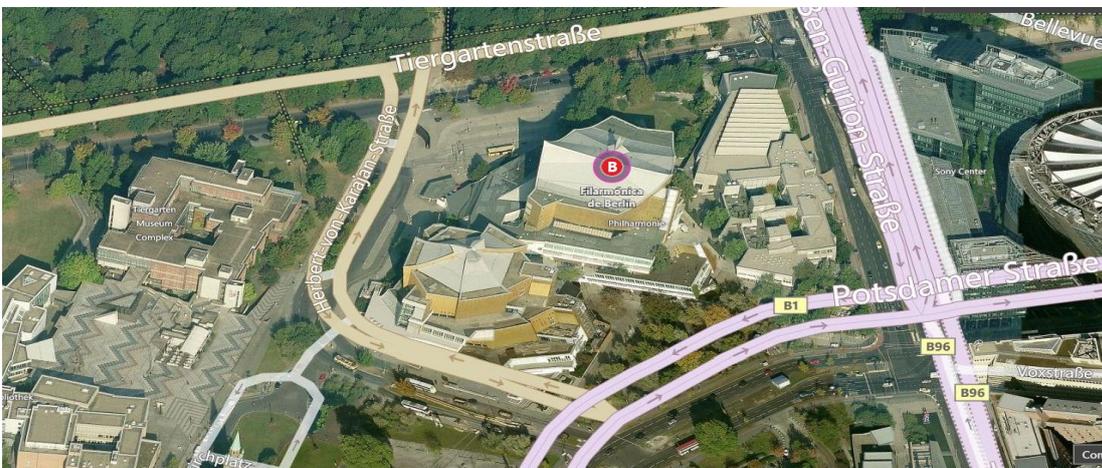
Fuente: <www.bingmaps.com> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

Imagen 2. Vista aérea 1. Límite Urbano y Tiegarten



Fuente: <www.bingmaps.com> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

Imagen 3. Vista aérea 2. Emplazamiento



Fuente: <www.bingmaps.com> [Consulta: 30 de Abril de 2017]

Imagen 4. Vista exterior 1. 1963



Fuente: REINHARD FRIEDRICH < <http://www.metalocus.es/es/noticias/la-filarmonica-de-berlin-historia-y-nuevo-concepto> >  
[Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 5. Vista exterior 2. 1963.



Fuente: REINHARD FRIEDRICH < <http://www.metalocus.es/es/noticias/la-filarmonica-de-berlin-historia-y-nuevo-concepto> >  
[Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 5. Entrada principal



Fuente: <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 6. Entrada principal detalle



Fuente: <<http://footage.framepool.com/en/shot/696043774-kammermusiksaal-tiergartenviertel-berliner-filharmonie-hans-scharoun>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 7. Alzado trasero



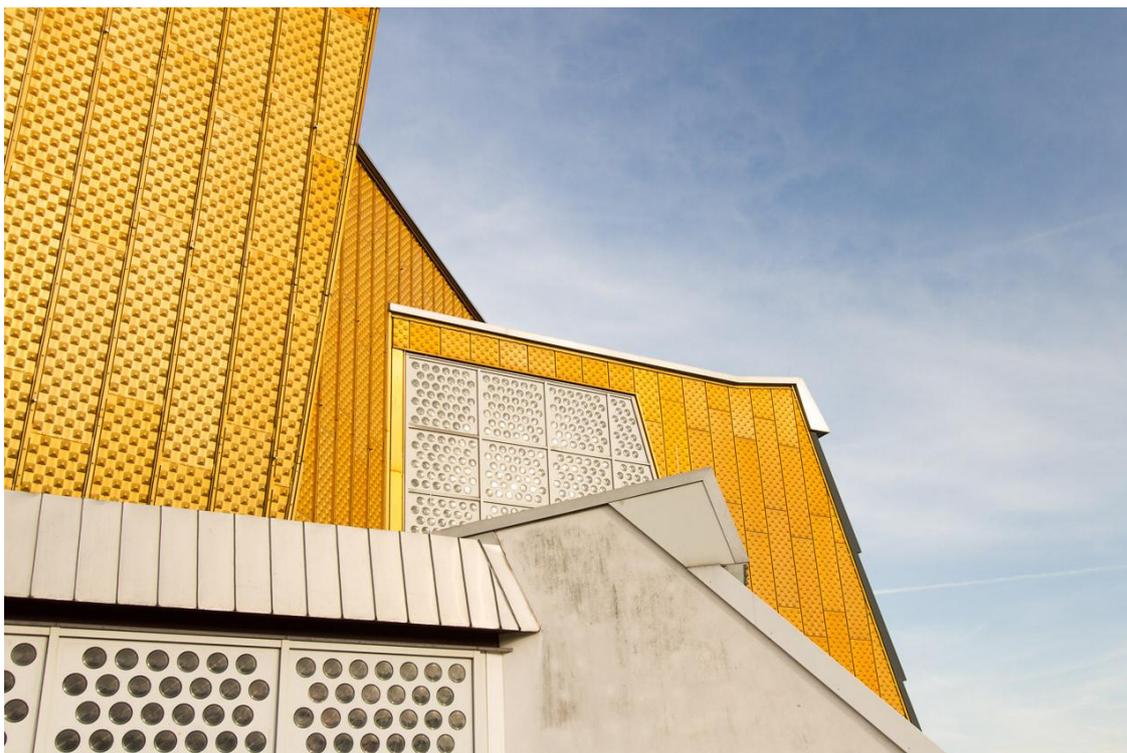
Fuente: <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 8. Vista nocturna



Fuente: <<https://es.pinterest.com/pin/416090453051249139/>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 9. Contraste de materiales (yeso y chapa metálica)



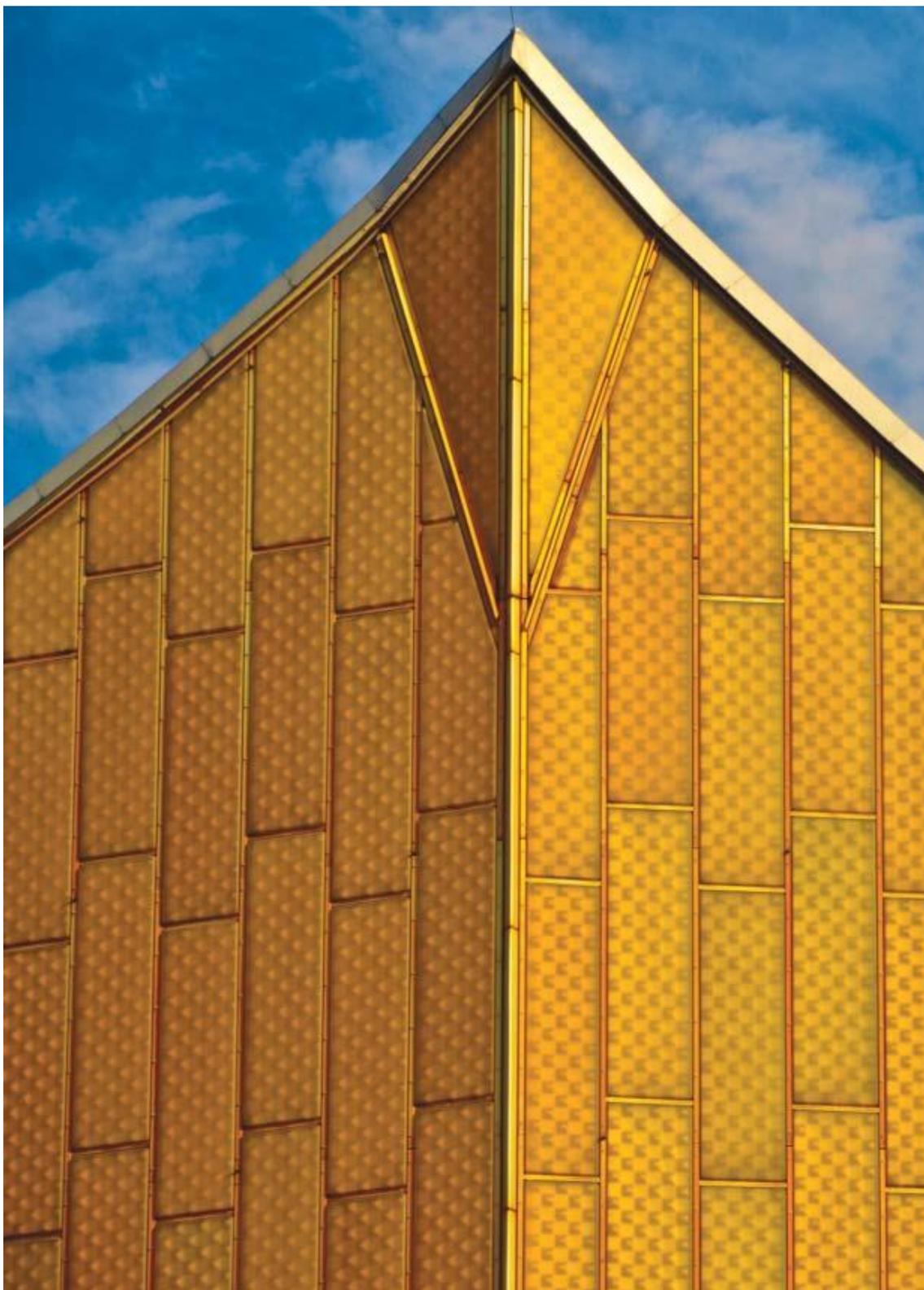
Fuente: <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 10. Contraste de materiales (cerramiento y cubierta)



Fuente: <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 11. Detalle cubierta



Fuente: <<http://orfeoed.com/melomano/2014/articulos/especiales/el-auditorio-de-la-filarmonica-de-berlin/>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 12. Hall de entrada



Fuente: <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 13. Hall de entrada



Fuente: <<http://footage.framepool.com/en/bin/26658,philharmonic+hall,berlin,germany/>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 14. Vista panorámica interior



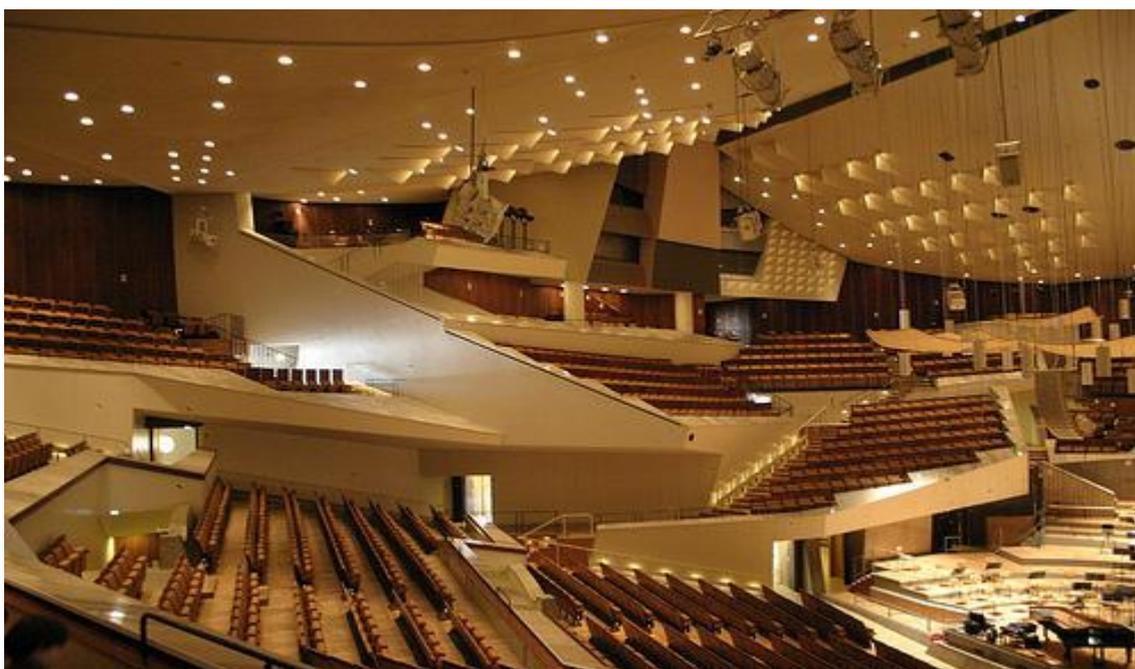
Fuente: <<https://www.firstclassics-berlin.de/service/philharmonie-berlin-grosser-saal.html?L=0>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 15. Vista interior.



Fuente: CORONEL RODRIGOMBIA. <<http://www.metalocus.es/es/noticias/la-filarmonica-de-berlin-historia-y-nuevo-concepto>> [Consulta: 12 de Julio de 2017]

Imagen 16. Vista interior lateral



Fuente: CORONEL RODRIGOMBIA < <http://eduplanetamusical.es/tag/simon-rattle/> > [Consulta: 12 de Julio de 2017]

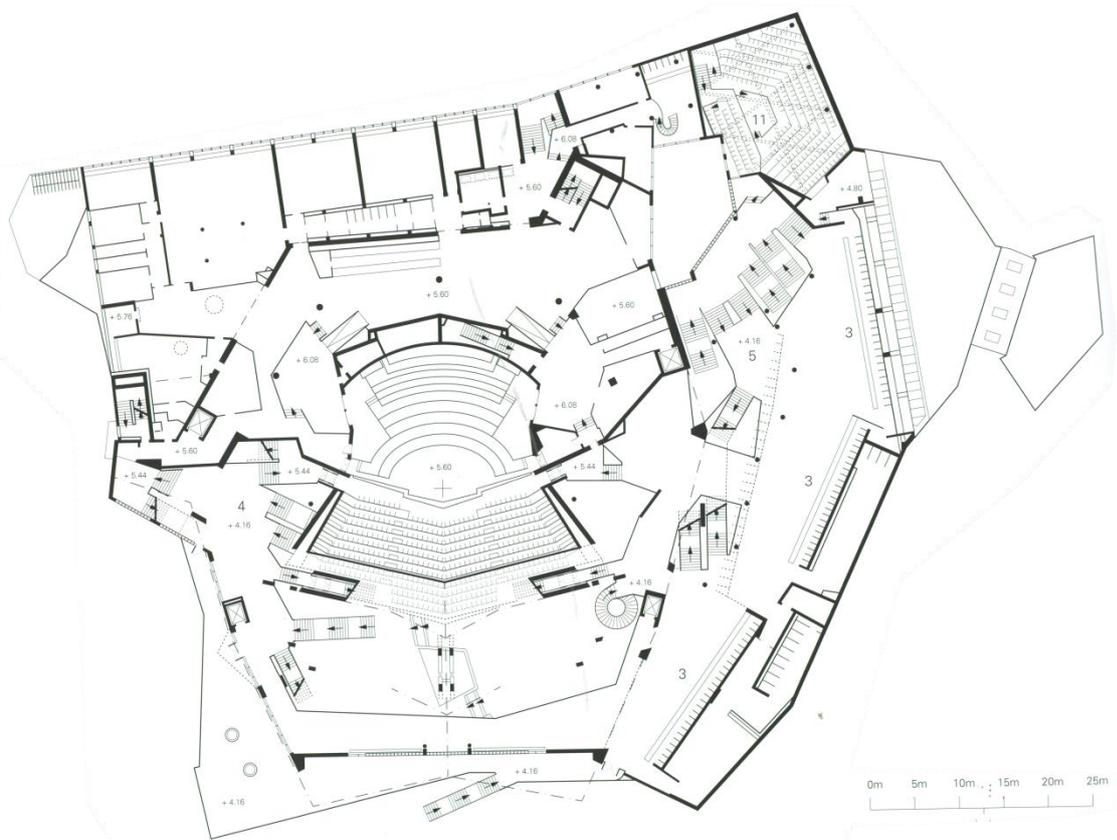
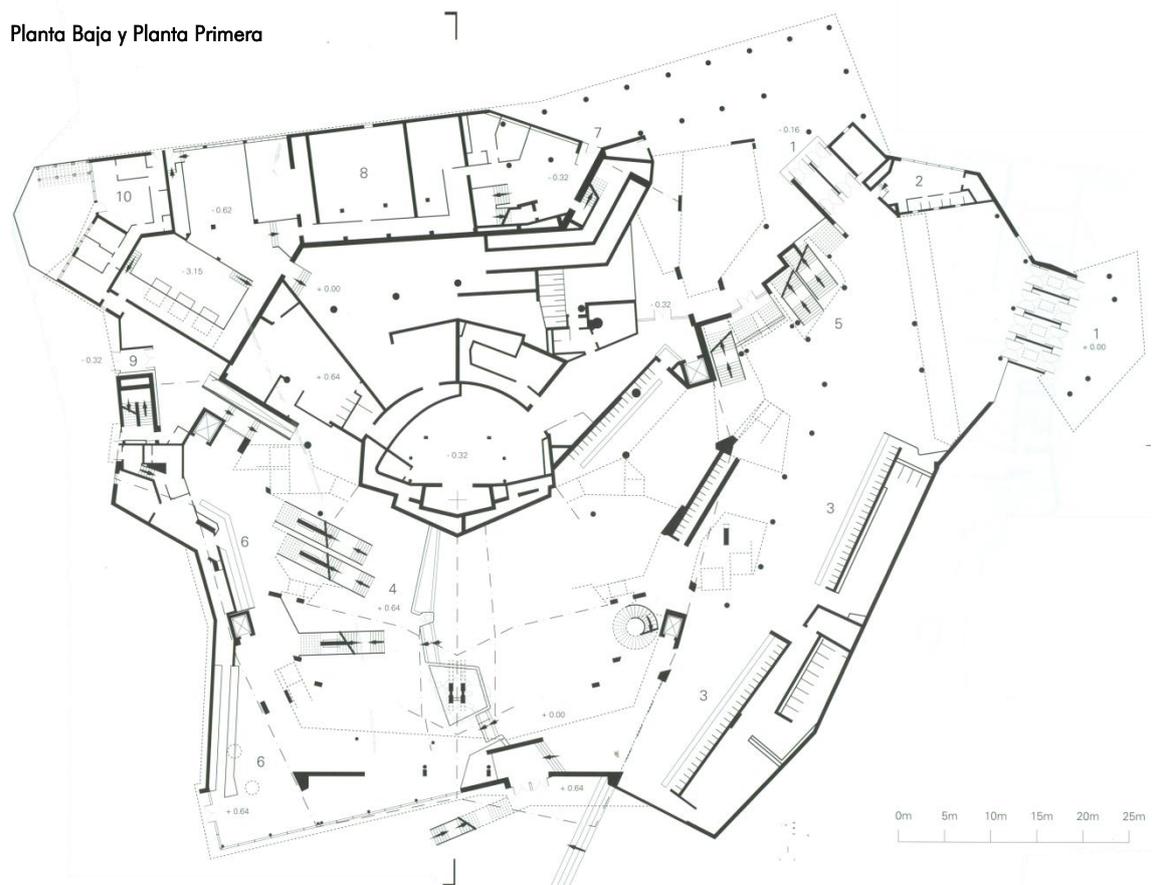
Imagen 17. Sala ocupada



Fuente: < <https://www.digitalconcerthall.com/es/concert/16914> > [Consulta: 12 de Julio de 2017]

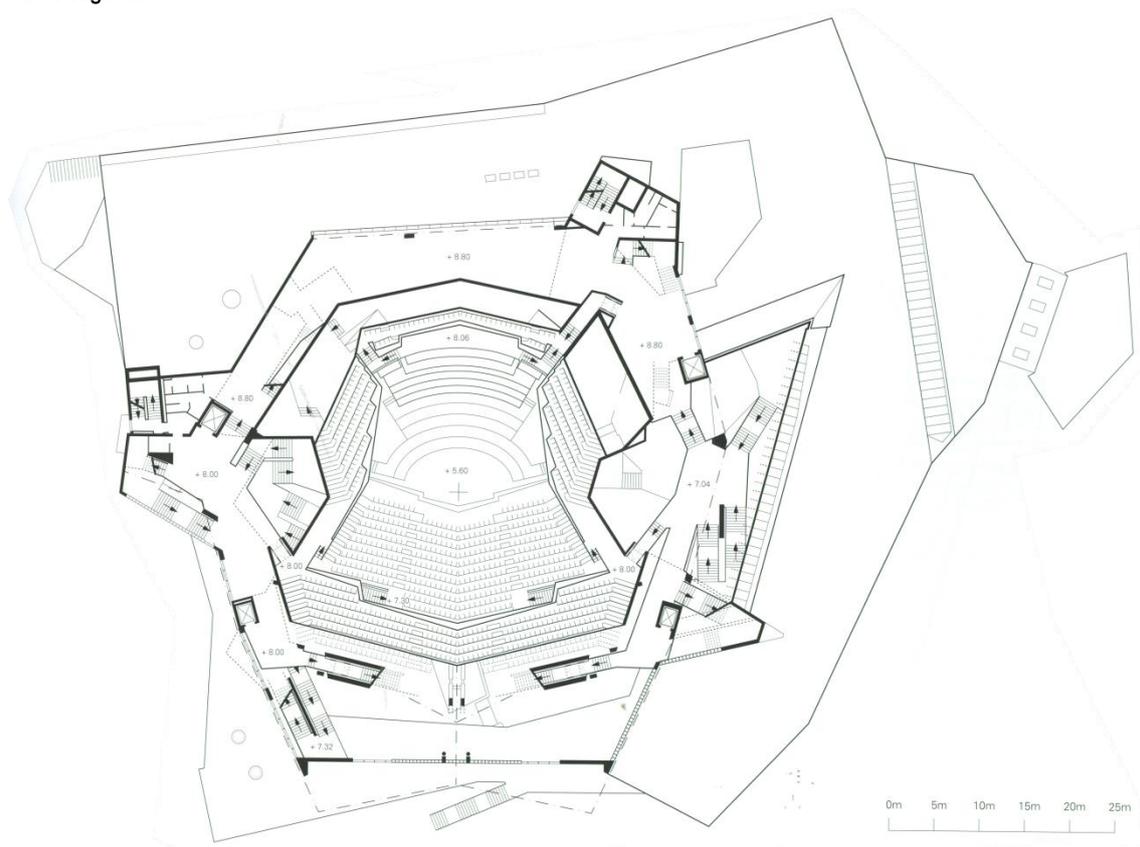
## Planimetría

### Planta Baja y Planta Primera



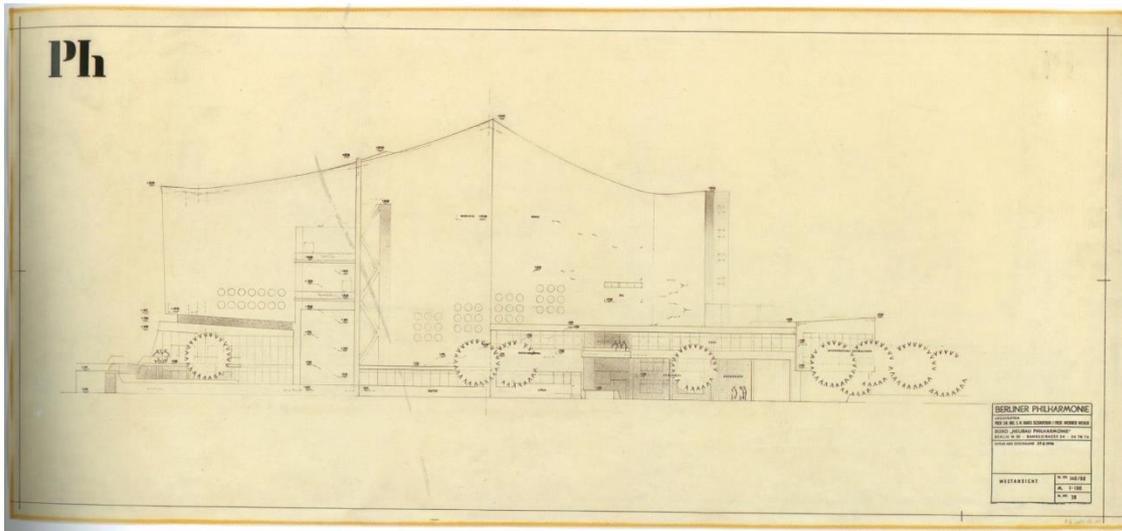
Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

Planta Segunda



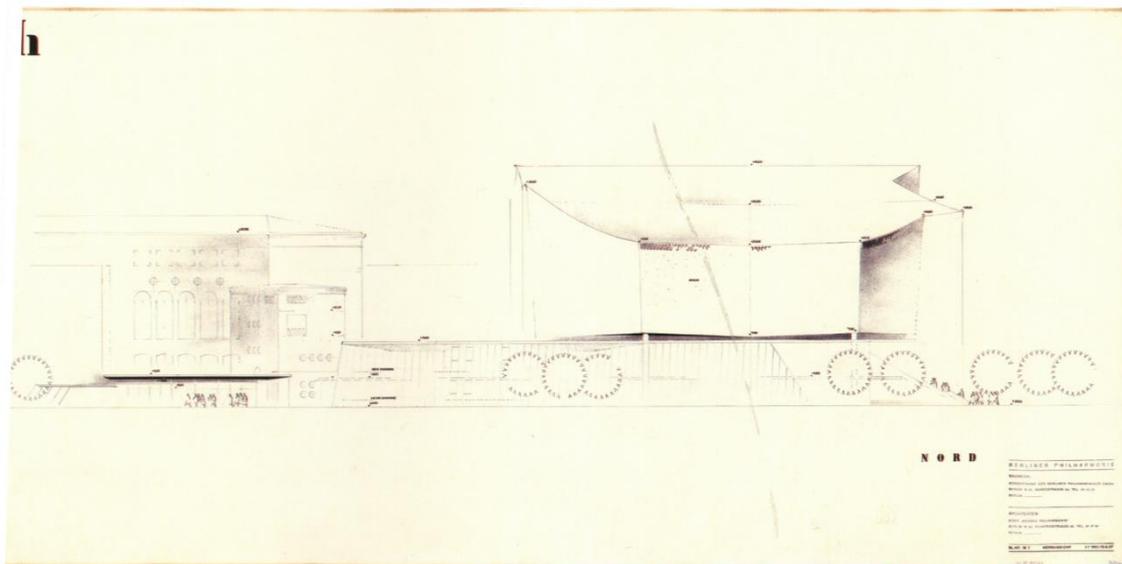
Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

Alzado Este



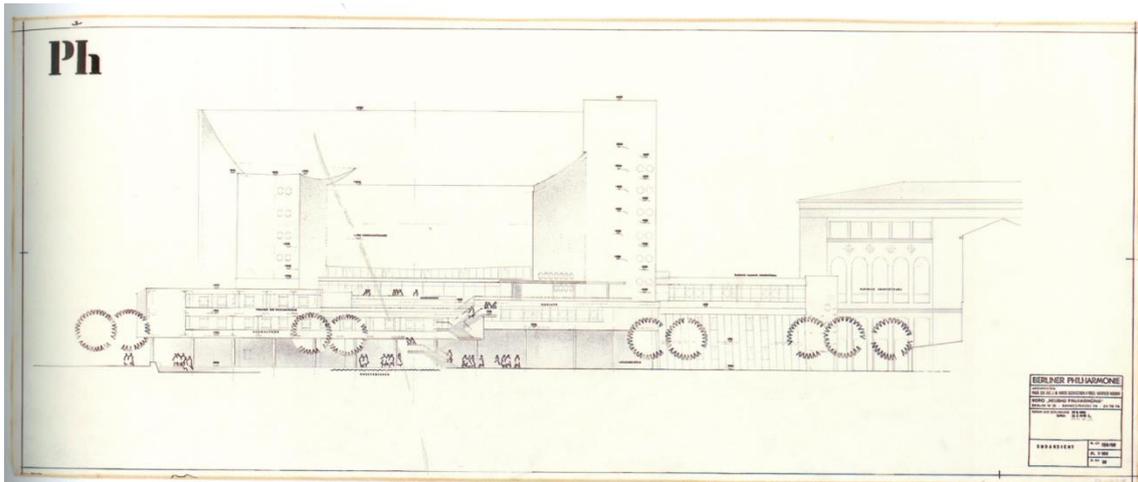
Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

Alzado Norte



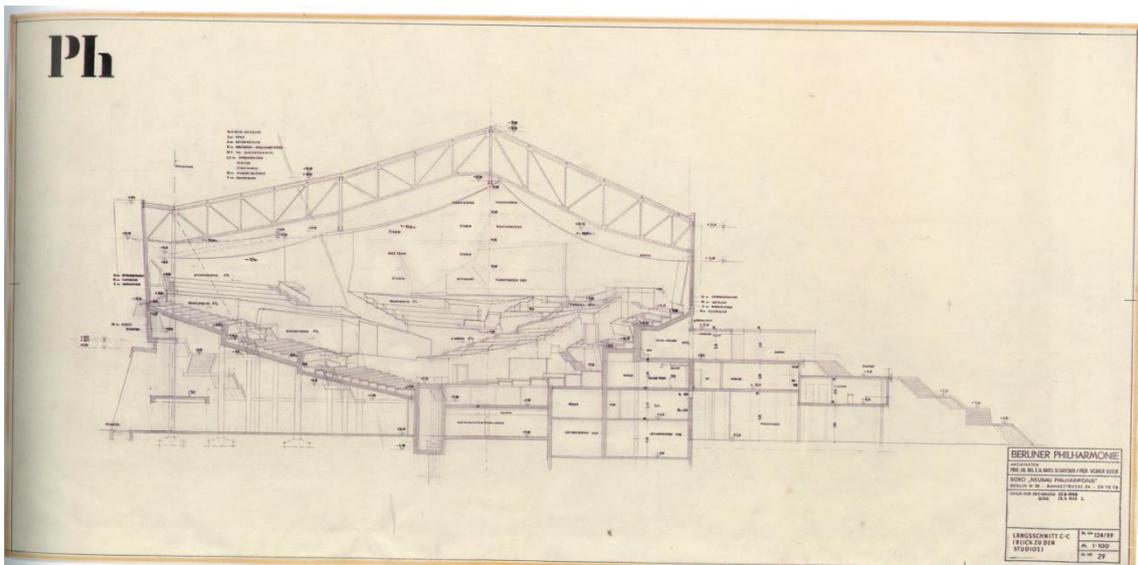
Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

Alzado Sur



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

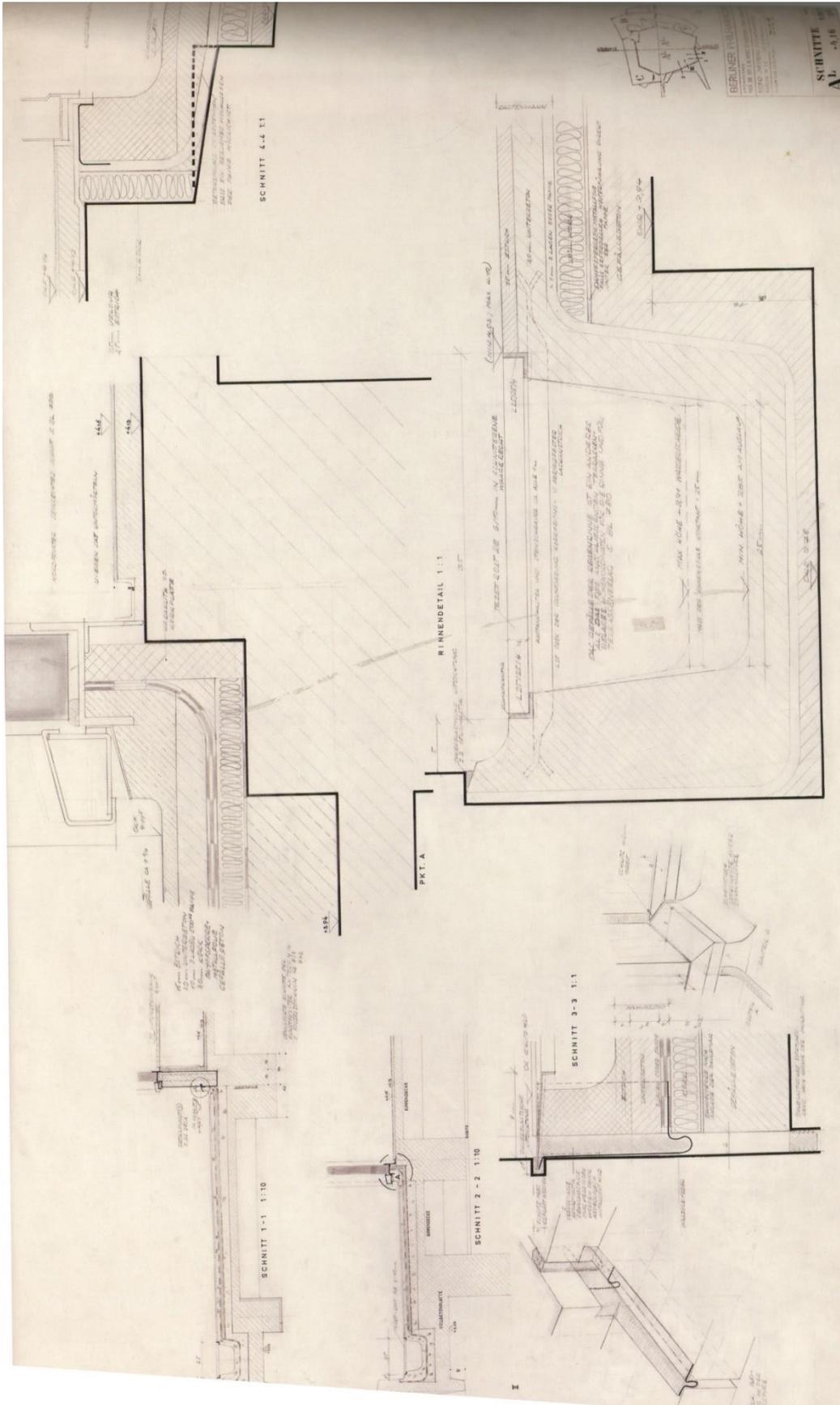
Sección 1



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea



Detalle constructivo. Cubierta



Fuente: O'NEIL FORD. (2013). *Monograph Series, Volume 5\_Philharmonie*. South Korea

