

## **Evaluación de la calidad acústica en salas de conciertos por medio de una programación complementaria a la herramienta Pachyderm Acoustical Simulation.**

Ana Carolina Vargas González

Universidad de Costa Rica

Apartado postal 2060, San Pedro, Montes de Oca, San José Costa Rica

ana.vargasgonzalez@ucr.ac.cr

**Código del manuscrito:** 01\_001

**Fecha de aceptación:** 20/08/19

### **Resumen**

El diseño de los espacios de presentación de música se debe cumplir con parámetros acústicos específicos para garantizar la calidad sonora en el espacio. Para el caso de la valoración del sonido es atípico encontrar un software de acústica vinculado a uno de arquitectura, por lo que el diseñador que desea implementar análisis acústicos en su proyecto durante el proceso de diseño se ve obligado a estar en una constante migración entre softwares de trabajo específicos de acústica y diseño. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una herramienta de evaluación de parámetros acústicos para salas de conciertos, utilizando un componente asociado a Pachyderm Acoustical Simulation. La investigación se realizó desarrollando una programación complementaria a la simulación acústica realizada desde el plugin Pachyderm Acoustical Simulation en la plataforma Grasshopper para la evaluación de parámetros acústicos de salas de conciertos. La herramienta creada de evaluación de parámetros acústicos para salas de conciertos trabaja de forma conjunta de la simulación de Pachyderm Acoustical Simulation, presentando una visualización clara de las coincidencias respecto a los rangos de los valores recomendados por Carrión Isbert para los parámetros acústicos. Esta forma de evaluación de los parámetros acústicos que puede ser de gran relevancia para guiar el proceso de diseño de salas de concierto desde etapas iniciales.

**Palabras claves:** Evaluación acústica, calidad acústica, salas de concierto, Pachyderm Acoustical Simulation, Grasshopper.

### **Abstract**

The design of the music presentation spaces must comply with specific acoustic parameters to guarantee the sound quality in the space. In the case of sound valuation, it is atypical to find an acoustic software linked to one of architecture, so that the designer who wishes to implement acoustic analysis in his project during the design process is forced to be in a constant migration between softwares of specific acoustics and design work. The objective of this work was to develop an acoustic parameter evaluation tool for concert halls, using a component associated with Pachyderm Acoustical Simulation. The research was carried out by developing a complementary programming to the acoustic simulation carried out from the Pachyderm Acoustical Simulation plugin on the Grasshopper platform for the evaluation of acoustic parameters of concert halls. The tool created for the evaluation of acoustic parameters for concert halls works together with the Pachyderm Acoustical Simulation simulation, presenting a clear visualization of the coincidences with respect to the ranges of values recommended by Carrión Isbert for the acoustic parameters. This form of evaluation of the acoustic parameters that can be of great relevance to guide the design process of concert halls from initial stages.

**Keywords:** Acoustic evaluation, acoustical quality, concert halls, Pachyderm Acoustical Simulation, Grasshopper.

## Introducción

Los espacios de presentación musical surgen debido al gusto de las personas por los eventos musicales, ya que la música interesa profundamente a los seres humanos y es transversal a casi todos los públicos. Dentro del estudio de la Arquitectura se conoce que los espacios para presentación musical presentan gran especificidad a nivel de diseño, y se debe contemplar como elemento principal el sonido.

En la proyección de los espacios de presentación de música se debe cumplir con parámetros acústicos específicos para garantizar la calidad acústica del sonido en el espacio (Carrión Isbert, 1998). La verificación de los parámetros acústicos durante el proceso de diseño del objeto arquitectónico permitiría lograr que el diseño del espacio alcance el correcto desempeño con respecto al sonido, y a su vez se contemplen los requerimientos funcionales del mismo; de manera que el diseño funcional y el diseño acústico sean plasmados de una forma integral. No obstante, el diseñador generalmente no cuenta con herramientas para evaluar el elemento sonido que se vinculen de forma directa en proceso creativo y proyectual de la arquitectura (Shuai Lu et al, 2015). En cuanto a las herramientas existentes para simulaciones acústicas se conocen softwares tales como CATT-Acoustics, Odeon, Bose Modeler, Ease Focus, entre otros, todos estos son herramientas especializadas e independientes a los softwares que usualmente se utilizan dentro del quehacer arquitectónico, como lo son Revit, Achicad, Rhinoceros, Vectorworks y otros. Esto muestra como las herramientas de diseño condicionan a que el proceso de diseño arquitectónico y acústico de los espacios se desenvuelva de manera desvinculada (Tsukasa Takenaka y Aya Okabe s.f). Por consecuente, el diseño del espacio es disociado a la solución acústica del mismo.

La posibilidad de evaluar los parámetros acústicos desde las etapas iniciales de diseño por medio de una herramienta vinculada a un software de diseño posibilitaría el desarrollo de un diseño basado en el desempeño (García Gómez, Kahle y Wulfrank, 2016). A razón de esto, es que se desarrolló esta investigación la cual propone una herramienta evaluación acústica que posibilita la vinculación del trabajo a nivel proceso de diseño arquitectónico con la simulación acústica del mismo.

El objetivo de la programación complementaria es obtener los valores de los parámetros acústicos específicos de salas de conciertos dentro de una herramienta digital de diseño para la evaluación de la calidad acústica de salas de concierto de forma automatizada.

## Estado del arte del problema

En la actualidad la implementación de la tecnología y las herramientas digitales de diseño permiten al diseñador trabajar con la incorporación y la toma en cuenta de elementos muy específicos dentro del proceso de diseño (ej: la luz, la radiación, la eficiencia energética, el sonido). Esto permite que el diseño resultante alcance mejores condiciones, logrando un diseño integral entre todas las variables que deben abordarse (García Alvarado y Lyon Gottlieb, s.f). Siendo así que, la incorporación de datos acústicos durante la proyección de espacios de presentación musical resulta necesaria para una definición óptima del diseño.

En caso del estudio de radiación solar es común encontrar plugins, extensiones o componentes ya integrados a los softwares de diseño como Revit, Achicad, Sketch up y otros, que facilitan la valoración de la radiación solar de forma inmediata en el diseño arquitectónico. Sin embargo, para el caso de la valoración del sonido es atípico encontrar una posibilidad semejante al caso de la radiación solar. Para la simulación acústica de un proyecto arquitectónico se está obligado a trabajar con softwares especializados e independientes, por lo que si el diseñador desea implementar resultantes acústicos de su proyecto durante el proceso de diseño se ve obligado a estar en una constante migración de softwares de trabajo (Shuai Lu et al, 2015). La migración entre las plataformas de diseño y las de simulación acústica presentan inconvenientes, primeramente, el tiempo del proceso de trabajo se va a ver en aumento. En segundo lugar, la lectura de los modelos virtuales entre los softwares puede presentar incompatibilidades o es defectuosos, lo que implica que para el proceso de simulación acústica se presenten problemas. Y por tercer y último punto, la desvinculación entre las plataformas de trabajo ofrece poca practicidad en la recopilación de la información acústica y su vinculación con el diseño arquitectónico (García Gómez, Kahle y Wulfrank, 2016). Las razones anteriores demuestran como la conexión de un motor de simulación acústico a un software de diseño arquitectónico brindaría grandes posibilidades al diseño óptimo de espacios de gran especificidad, tal cual, las salas de concierto.

Esto llevó a investigar la existencia de las herramientas para la evaluación acústica, lo condujo a conocer el motor de simulación acústico Pachyderm Acoustical Simulation. Pachyderm es un plugin para el software de diseño Rhinoceros. Desde la herramienta se pueden simular variedad de parámetros acústicos, sin embargo, presenta una particularidad. A diferencia de los softwares de simulación acústica, Pachyderm se limita a generar una la base de resultados acústicos que deberán ser procesados de manera independiente por usuario para poder concluir la evaluación acústica.

Por consiguiente, se puede comprender que aun el desarrollo de herramientas digitales para la evaluación de parámetros acústicos durante las etapas del proceso de diseño es muy escaso e incompleto.

## Metodología

En este artículo expondrá una herramienta de evaluación de parámetros acústicos para salas de conciertos, que se desarrolló desde las posibilidades del plugin Pachyderm Acoustical Simulation y para trabajar como un componente asociado al mismo. La herramienta surge bajo el interés por trabajar de forma paralela el tema de acústica durante el proceso de diseño de una sala de conciertos, obteniendo resultados de la manera más inmediata y automatizada posible.

El planteamiento de la programación complementaria diseñada se desarrolló de tres fases, en una primera fue necesario la comprensión de los parámetros acústicos de las salas de concierto. En la segunda fase, se determinó las posibilidades y limitaciones de Pachyderm, para finalmente en una la tercera fase, se explicó la herramienta de evaluación programada.

## Parámetros acústicos en Salas de Concierto

Cada espacio presenta particularidades acústicas; las características de forma, las superficies, el volumen del espacio, los coeficientes de absorción de materiales empleados, el posicionamiento de las fuentes de sonido con respecto a los receptores, son algunos de las variables que van a determinar las condiciones acústicas en un espacio. En el caso de las Salas de Conciertos, Teatros y Anfiteatros como las tipologías espaciales propias para actividades musicales se espera que condiciones acústicas del espacio sean las óptimas, donde la percepción de la música sea mejor posible. Sin embargo, posibles problemas acústicos, tales como, ruidos de fondo, ecos, resonancias, entre otros, pueden repercutir de forma negativa en la experiencia musical de músicos y espectadores, de manera que, se puede deducir la gran importancia de la acústica para este tipo de espacios.

El interés por la comprensión del sonido y su respectiva correlación con impresión subjetiva en las salas de concierto llevo a los primeros estudios científicos en el tema. Esto dio inicio al estudio de la acústica arquitectónica en siglo XX por Wallace Clement Sabine. Sabine estableció la “ecuación de tiempo de reverberación como un método que determina el comportamiento acústico de un recinto”. (Hidalgo Patiño, 2009, p.2) Posterior a esto, otros científicos contribuyeron con definición de otros parámetros acústicos para salas de conciertos y de esta forma se establecieron métodos objetivos para evaluar las características acústicas en una sala de concierto. (Hidalgo Patiño, 2009, p.2) De manera que por medio de los parámetros acústicos se busca alcanzar la calidad acústica adecuada para las salas de concierto.

Los parámetros acústicos para una sala de concierto son fácilmente encontrados en literatura especializada, a su vez se pueden encontrar un gran número de distintos parámetros, organizados bajo diversas taxonomías. En esta investigación los parámetros se establecieron desde los planteamientos del libro Diseño acústico para espacios arquitectónicos del autor Antoni Carrión Isbert. Carrión Isbert define el diseño de las salas de interpretación musical como los espacios de mayor complejidad de diseño acústico. (Carrión Isbert, 1998) El autor en su libro define los parámetros acústicos esenciales para procurar la calidad acústica en las salas de concierto. Por cada parámetro presenta su definición teórica, la fórmula de cálculo, el valor recomendado y su correlación con la valoración subjetiva del mismo. A continuación, se presenta la tabla resumen de parámetros extraída del libro de Carrión Isbert:

PARÁMETROS ACÚSTICOS		VALOR RECOMENDADO	VALORACIÓN SUBJETIVA
RT <sub>mid</sub>	Tiempo de Reverberación medio, sala ocupada	$1.58s \leq RT_{mid} \leq 2s$	Grado de viveza de la sala
BR	Calidez Acústica, sala ocupada	$1.10 \leq BR \leq 1.45$	Riqueza en sonidos graves, melosidad y suavidad de la música
Br	Brillo, sala ocupada	$Br \geq 1$	Riqueza en sonidos agudos
EDT <sub>mid</sub>	Early Decay Time medio, sala ocupada	$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	Grado de viveza de la sala
G <sub>mid</sub>	Sonoridad, sala vacía	$4 \text{ dB} \leq G_{mid} \leq 5.5 \text{ dB}$	Grado de amplificación producido en la sala
ITDG	“Initial-Time-Delay Gap” (t <sub>i</sub> )	$t_i \leq 20 \text{ ms}$	Intimidad acústica (sensación subjetiva de volumen de la sala; grado de identificación con la orquesta)
C <sub>80</sub>	Claridad Musical media	$-4 \text{ dB} \leq C_{80} \leq 0 \text{ dB}$ , sala vacía $-2 \text{ dB} \leq C_{80} \leq +2 \text{ dB}$ , sala ocupada	Grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical
LF <sub>E4</sub>	Eficiencia Lateral media, sala vacía	$LF_{E4} \geq 0.19$	Impresión espacial del sonido (amplitud aparente de la fuente sonora)
IACC <sub>E3</sub>	Correlación cruzada interaural, sala vacía	$(I-IACC_{E3}) \approx 0.70$	Impresión espacial del sonido (amplitud aparente de la fuente sonora)
SDI	Índice de difusión	SDI - 1	Impresión espacial del sonido (sensación de envolvente)
ST1 <sub>mid</sub>	Soporte objetivo medio, sala vacía y sin músicos pero con los elementos que son propios	$-14 \text{ dB} \leq ST1_{mid} \leq -12.5 \text{ dB}$	Capacidad de los músicos de escucharse a sí mismos y al resto de componentes de la orquesta

**Tabla 1.** Valores recomendados de los parámetros acústicos asociados a salas de concierto y correspondiente valoración subjetiva.  
Fuente: Diseño acústico de espacios arquitectónicos, 1998.

### Herramienta de simulación acústica Pachyderm Acoustical Simulation

Para llevar a cabo la evaluación acústica para salas de concierto es imprescindible realizar una simulación acústica para obtener los datos base para el análisis y elevación. Por lo cual, se selecciona el motor de simulación acústico Pachyderm Acoustical Simulation debido a su vinculación directa con un software de diseño.

El plugin Pachyderm es una herramienta desarrollada para el software Rhinoceros por Arthur van der Harten y su última versión fue lanzada en noviembre de 2018. (Van der Harten, Arthur, s.f) El plugin se presenta como una

extensión dentro de Rhinoceros, pero también, adjunta una serie de componentes a otro plugin de trabajo en Rhinoceros, el plugin Grasshopper. El simulador consiste en “una colección de algoritmos de simulación acústica que pueden ser usados para predicción de ruido o visualización de la propagación del sonido”. (Pérez Pascual, 2016, p.34)

La herramienta permite medir y calcular parámetros acústicos para los diferentes espacios donde se requiera una buena percepción ya sea de la palabra o de la música; auditorios, salas de conferencias, teatros, salas de concierto... Dentro de los parámetros a calcular incluye parámetros como: Nivel de Presión sonora, Tiempo de Reverberación, Early Decay Time, Claridad, Definición, Sonoridad, Inteligibilidad de la palabra, Eficiencia Lateral, entre otros... Por lo tanto, se puede decir que incluye parámetros monoaurales y binaurales, siendo la mayoría parámetros monoaurales. (Barron y Marshall, 1981)

Para la ejecución de la simulación acústica cualquier tipo de motor de simulación requiere una modelización de la morfología a medir (Grupo de Acústica de la UPV-UVEG, 2011), en el caso de Pachyderm, este requerimiento se asocia a Rhinoceros, de manera que, a lectura de materiales, volumen, superficie lo hace por medio de software de diseño.

Los resultados de la medición de cualquiera de los parámetros ya sea en la visualización para Rhinoceros o Grasshopper se muestran por cada una de las bandas de frecuencia, limitándose a generar las mediciones por parámetros. Para realizar la evaluación objetiva de las características de una sala de conciertos es necesario determinar los valores de los resultados por parámetro; para ello es necesario resolver los procedimientos matemáticos que permiten determinar el valor por cada parámetro acústico que sea medido. Por lo que se concluye que Pachyderm se limita a generar las mediciones por los parámetros que se incluyen en el plugin, no obstante, la evaluación acústica final de cada parámetro no lo realiza.

### **Programación complementaria para Evaluación de la Calidad Acústica en Salas de Concierto**

La programación complementaria a Pachyderm Acoustical Simulation tiene como fin generar evaluación de los parámetros acústicos para salas de concierto. Para ellos se realiza la medición de los parámetros acústicos desde Pachyderm, para luego realizar un análisis de datos por medio de programación de componentes en Grasshopper. Finalmente, el componente asociado desarrollado permitirá realizar la evaluación acústica de las salas de concierto, de forma inmediata a la simulación del plugin Pachyderm.

La evaluación de calidad acústica se compone de la medición de cinco parámetros acústicos para salas de concierto. Si bien, el autor Carrion Isbert (1998) establece una lista de parámetros acústicos a considerar para lograr la calidad acústica óptima en una sala de conciertos, al interpolar esto con las posibilidades de Pachyderm, se determina una delimitación de estos parámetros. Dentro de los componentes de medición que Pachyderm emplea dentro de Grasshopper, únicamente cuenta con componentes de medición para los siguientes parámetros acústicos para salas de concierto:

$RT_{mid}$	Tiempo de Reverberación medio
$EDT_{mid}$	Early Decay Time medio
$C_{80}$	Claridad Musical media
BR	Calidez Acústica
Br	Brillo

Por cada uno de estos parámetros, se recopilan las fórmulas de cálculo y los valores recomendados para poder ser incluidos en programación de análisis de datos. A continuación, se presenta cada parámetro acústico con su respectiva fórmula de cálculo y valor recomendado:

PARÁMETROS ACÚSTICOS		VALORACIÓN SUBJETIVA	FÓRMULA DE CÁLCULO	VALOR RECOMENDADO
RT <sub>mid</sub>	Tiempo de Reverberación medio	Grado de viveza de la sala	$\frac{RT(500\text{Hz}) + RT(1\text{kHz})}{2}$	$1.58\text{s} \leq RT_{\text{mid}} \leq 2\text{s}$
EDT <sub>mid</sub>	Early Decay Time medio	Grado de viveza de la sala	$\frac{EDT(500\text{Hz}) + EDT(1\text{kHz})}{2}$	$EDT_{\text{mid}} \approx RT_{\text{mid}}$
C <sub>80</sub>	Claridad Musical media	Grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical	$\frac{RT(500\text{Hz}) + RT(1\text{kHz}) + RT(2\text{kHz})}{3}$	$-2\text{ dB} \leq C_{80} \leq +2\text{dB}$
BR	Calidez Acústica	Riqueza en sonidos graves, melosidad y suavidad de la música	$\frac{RT(125\text{ Hz}) + RT(250\text{ Hz})}{RT(500\text{ Hz}) + RT(1\text{ kHz})}$	$1.10 \leq BR \leq 1.45$
Br	Brillo	Riqueza en sonidos agudos	$\frac{RT(2\text{ kHz}) + RT(4\text{ kHz})}{RT(500\text{ Hz}) + RT(1\text{ kHz})}$	$Br \geq 1$

**Tabla 2.** Parámetros acústicos a evaluar. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los datos de los parámetros son la base para la programación en Grasshopper, este plug in permite realizar manejo de datos y de expresiones matemáticas, por lo que se hace uso de estas opciones para la construcción del sistema de evaluación de parámetros acústicos.

La programación dentro de Grasshopper de la Evaluación de la calidad acústica se realiza en dos componentes por cada parámetro acústico establecido. Primero se establece un componente para que entregue los valores resultantes de las mediciones obtenidas de Pachyderm. Para después definir un componente que evaluará los resultados de los valores obtenidos por cada uno de los parámetros acústicos. Lo anterior se visualiza de la siguiente forma:

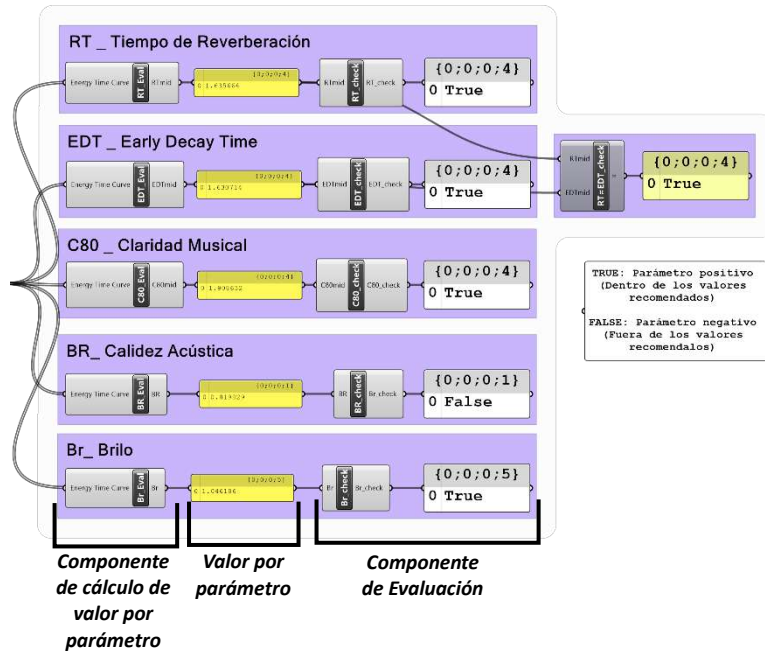


Imagen 1. Visualización de la programación complementaria de evaluación. Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Se tenía particular interés en que el algoritmo de evaluación tuviese la lectura más rápida y clara posible es por esto que se determina realizar dos componentes de análisis a los que se les ajunta dos panes de datos para obtener los resultados numéricos o los datos de textos requeridos.

El sistema de evaluación para ser ejecutado simplemente debe ser conectado a la programación de Pachyderm, al final la combinación de ambas programaciones se visualiza de la siguiente forma:

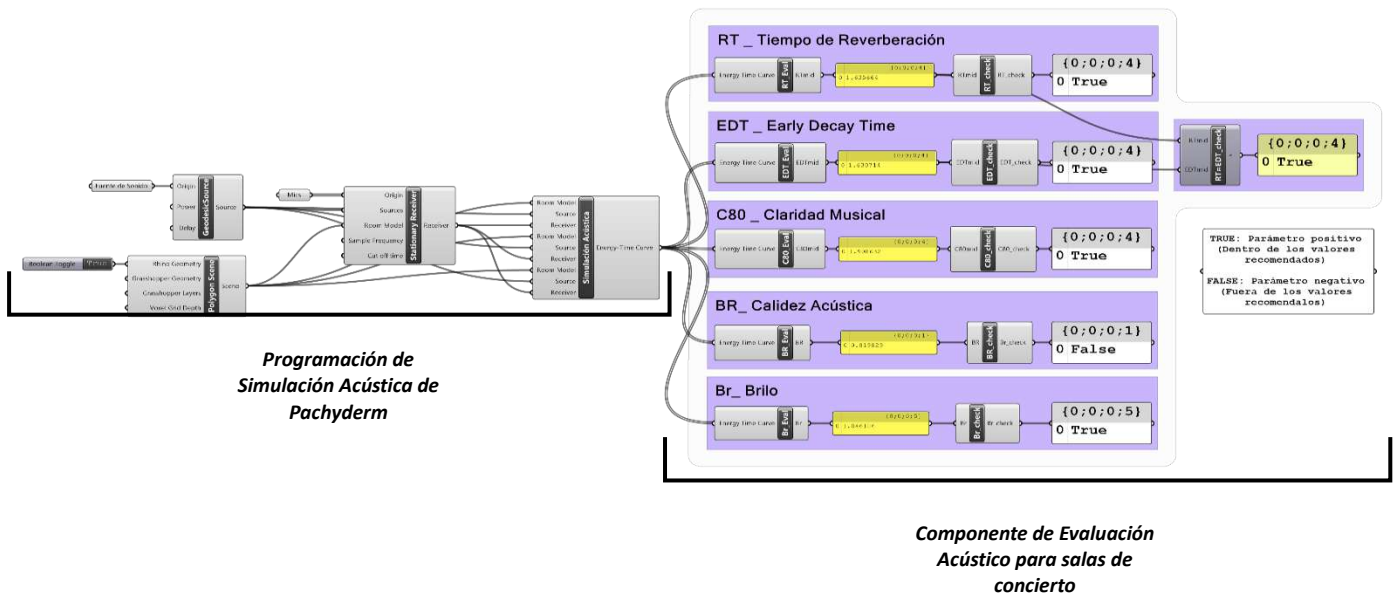


Imagen 2. Visualización del motor de simulación y la programación complementaria de evaluación.

Fuente: Elaboración Propia, 2019

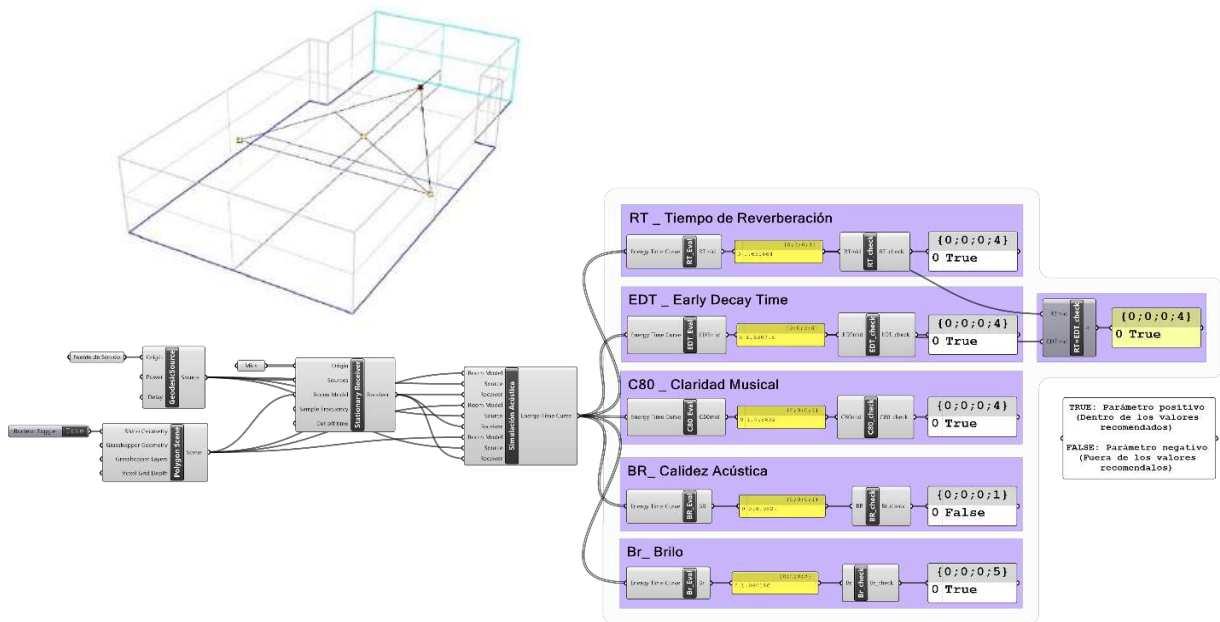


El trabajo conjunto de la simulación de Pachyderm Acoustical Simulation con la Programación Complementaria se presentarían como un sistema donde en los primeros componentes se realiza el cálculo y medición acústica y en los componentes finales se realiza la evaluación de los resultados. Donde la herramienta después de una simulación de unos cuantos minutos entregue resultados de evaluación manera más clara posible. Esto permite generar la posibilidad de visualizar resultados inmediatos desde medición de parámetros, por lo que presenta un medio para trabajar de forma fluida el manejo de datos acústicos de un modelo de diseño.

## Resultados

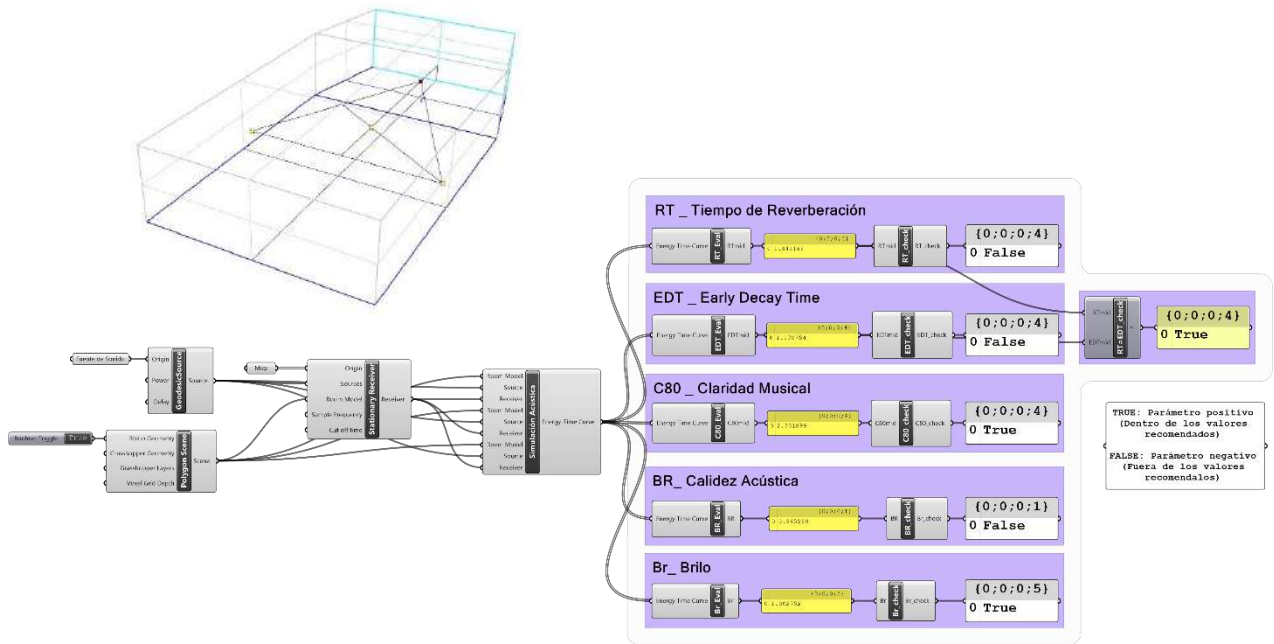
Se hizo uso de la programación complementaria para generar la evaluación de los parámetros acústicos en tres modelos de salas de concierto. Las tres propuestas de diseño han sido modelados en Rhinoceros, las propuestas son diseños iniciales de salas de concierto para 500 personas, cuentan con condiciones muy aproximada de volumen y área. Además, se definen la misma asignación de materiales, y ubicación del sistema de medición para la medición del motor de simulación. A continuación, se muestran las propuestas de salas de concierto:

### Modelo 1



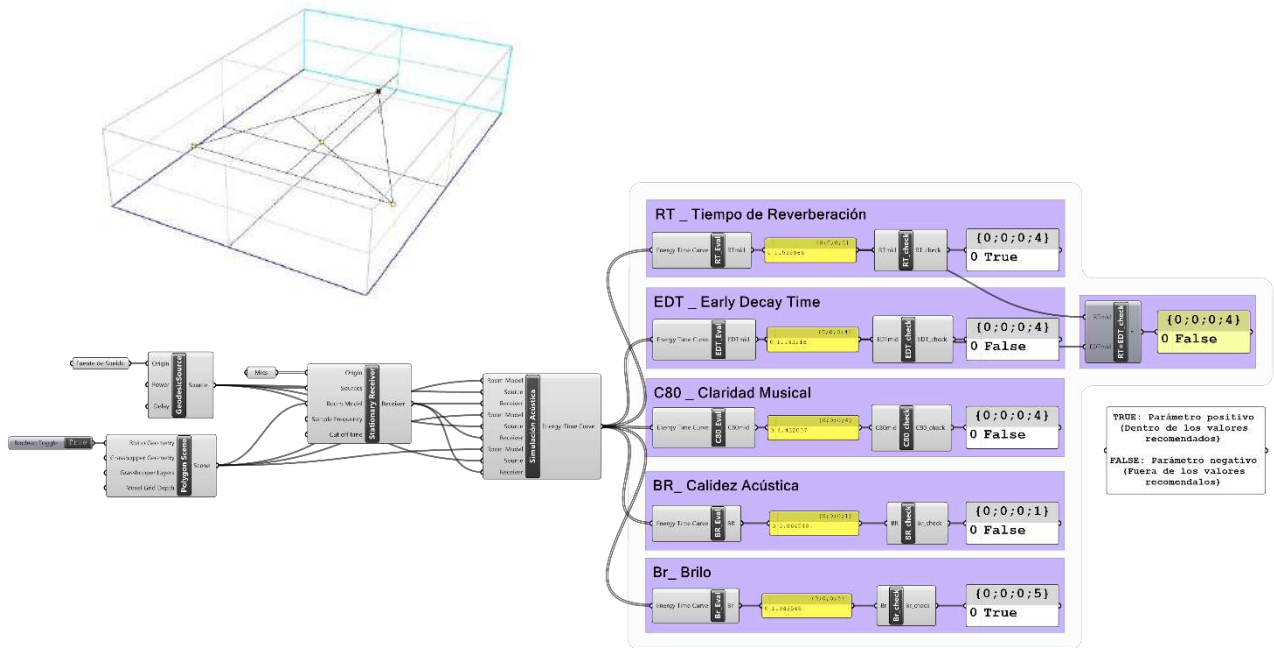
PARAMETROS ACÚSTICOS		VALOR RECOMENDADO	VALOR REGISTRADO
<b>RT<sub>mid</sub></b>	Tiempo de Reverberación medio	$1.8s \leq RT_{mid} \leq 2s$	1.635664 s
<b>EDT<sub>mid</sub></b>	Early Decay Time medio	$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	1.630714 s
<b>C<sub>80</sub></b>	Claridad Musical media	$-2 \text{ dB} \leq C_{80} \leq +2\text{dB}$	1.908632 dB
<b>BR</b>	Calidez Acústica	$1.10 \leq BR \leq 1.45$	0.819829
<b>Br</b>	Brillo	$Br \geq 1$	1.046186

## Modelo 2



PARAMETROS ACÚSTICOS	VALOR RECOMENDADO	VALOR REGISTRADO
$RT_{mid}$ Tiempo de Reverberación medio	$1.8s \leq RT_{mid} \leq 2s$	1.441168 s
$EDT_{mid}$ Early Decay Time medio	$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	1.270754 s
$C_{80}$ Claridad Musical media	$-2 \text{ dB} \leq C_{80} \leq +2\text{dB}$	2.331899 dB
BR Calidez Acústica	$1.10 \leq BR \leq 1.45$	0.845289
Br Brillo	$Br \geq 1$	1.002752

### Modelo 3



PARAMETROS ACÚSTICOS		VALOR RECOMENDADO	VALOR REGISTRADO
<b>RT<sub>mid</sub></b>	Tiempo de Reverberación medio	$1.8s \leq RT_{mid} \leq 2s$	1.538966 s
<b>EDT<sub>mid</sub></b>	Early Decay Time medio	$EDT_{mid} \approx RT_{mid}$	1.143216 s
<b>C<sub>80</sub></b>	Claridad Musical media	$-2 \text{ dB} \leq C_{80} \leq +2\text{dB}$	4.412007 dB
<b>BR</b>	Calidez Acústica	$1.10 \leq BR \leq 1.45$	0.864548
<b>Br</b>	Brillo	$Br \geq 1$	1.043548

Según se muestra es los modelos la evaluación de los parámetros acústicos ha podido ejecutarse desde la programación complementaria a la herramienta Pachyderm. Por lo que se puede mostrar el correcto funcionamiento de los componentes diseños para la evaluación de parámetros acústicos.

### Discusión y Conclusiones

La herramienta de evaluación de parámetros acústicos para salas de conciertos trabaja de forma conjunta de la simulación de Pachyderm Acoustical Simulation, presentando una visualización clara de las coincidencias respecto a los rangos de los valores recomendados para salas de conciertos por Carrión Isbert para los parámetros acústicos. Si

bien, se determinó una delimitación del total de parámetros acústicos que Carrión Isbert define necesarios para la evaluación de la calidad acústica; los parámetros analizados generan una idea global del funcionamiento del sonido en las proyecciones de las salas de concierto.

La base de la programación complementaria busca ofrecer una opción “automatizada” para la evaluación de la calidad acústica de una sala de conciertos, no obstante, dicha base sería la generatriz a otras posibilidades del componente. Dentro de las futuras posibilidades se podría explorar la opción de reajustar la interface hacia el usuario, proponer una interface que presente mayor libertad sobre la elección de los rangos por parámetro acústico. Los valores recomendados por cada uno de los parámetros acústicos que emplearon fueron exclusivamente para salas de concierto. Dichos rangos varían según la actividad específica a realizarse en el espacio. Los valores recomendados para un auditorio para conferencias son muy distintos a los de un espacio para presentación musical, y así según cada actividad. La posibilidad de desarrollar una interface del componente de evaluación más amplia correspondería a agregar elementos en los que el usuario pueda indicar los valores recomendados por parámetro según la actividad que se requiera. Esto generaría la posibilidad de que el componente de evaluación de la calidad acústica no sea únicamente para salas de concierto, si no, que funcionaría para muchos otros tipos de espacios en los que requiera la evaluación de la calidad acústica. Otra posibilidad sería que el componente se desarrolle por grupos de actividades, en este caso la programación presentaría elementos de evaluación por tipos de actividades específicas y los valores recomendados para esas actividades se encuentren incluidas dentro de la programación.

El componente de evaluación desarrollado, si bien podría mejorarse, ha sido planteada con el fin de ser una herramienta que de guía y que facilite el análisis de la acústica durante las primeras etapas de diseño, de manera que esta evaluación sirva de retroalimentación para el diseño del espacio.

## Agradecimientos

Esta investigación se enmarca en el trabajo final de graduación titulado “Música+Arquitectura+Parametría: Pautas de diseño para espacios de presentación musical y su aplicación desde el proceso paramétrico” y contó con el apoyo y tutoría de la Dra. Arq. Emily Vargas Soto, académica de la Universidad de Costa Rica, Costa Rica, el Phd. José Araya Pochet, el Dr. Arq. Rodrigo García Alvarado, académico de Universidad del Bío Bío, Chile y Alexis Salinas Arriagada, DGNL Studio.

## Referencias

- Barron, M. y Marshall, A.H. (1981) Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls. *J. Sound Vib.*, 77, 211-232
- Carrión Isbert, A. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- García Alvarado, R., & Lyon Gottlieb, A. (s.f.). Diseño paramétrico en Arquitectura; método, técnicas y aplicaciones. *Revista Arquiusur*, 16-27.
- García Gómez, J.O, Kahle, E., Wulfrank, T. Shaping concert halls. EuroRegio 2016, Porto, Portugal (2016).
- Giménez Pérez, A., Marín Sanchis, A., Sanchis Sabater, A., Romero Faus, J., Cerdá Jordá, S. & Jorge Vanacloy, M<sup>a</sup> D. Estudio de la evolución de parámetros acústicos que miden la calidad de salas de conciertos. 32nd Congreso Nacional de Acústica “TecnicaAcustica”, La Rioja (2011).



International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil – Chile

Grupo de Acústica de la UPV-UVEG: Giménez, A.; Cibrián, R.2; Segura, J.; Cerdá, S.; Barba, A.; Montell, R; Lacatis, R.; Romero, J.; Miralles, J.L.; Fernández, M.; Navasquillo, J. (2011) Revisión de la acústica de salas: desde las medidas objetivas a la virtualización y evaluación subjetiva. Valencia

Pérez Pascual, Ruth(2016). Diseño, implementación y evaluación de un sistema de simulación acústica en entornos cerrados. Trabajo Fin de Máster (Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación)-- Universidad de Alcalá Escuela Politécnica Superior

Shuai Lu, Xiang Yan, Weiguo Xu, Yuxiao Chen, Jie Liu. (2015). Improving auditorium designs with rapid feedback by integrating parametric models and acoustic simulation. BUILD SIMUL, 235-250.

Tsukasa Takenaka, Aya Okabe. (s.f). A Computational Method for Integrating Parametric Origami Design and Acoustic Engineering. Models of Computation: Form Studies, 289-296.

Van der Harten, Arthur (s.f). Pachyderm Acoustical Simulation. <http://www.perspectivesketch.com/pachyderm/index.php/author>