

## RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERA DE SONIDO.
2. **TÍTULO:** ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN ESPACIAL DE UNA FUENTE SONORA DENTRO DE UN RECINTO ACÚSTICO RESPECTO A ESTÍMULOS VISUALES- AUDITIVOS.
3. **AUTOR:** Ana María Quintero Peña.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C.
5. **FECHA:** Junio de 2014.
6. **PALABRAS CLAVE:** Estímulo visual, Estímulo auditivo, Punto de receptor, Impresión espacial, ASW, LEV, Significancia, Muestra probabilística, Muestra no probabilística.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es encontrar la influencia que ejercen las variables independientes que son estímulos visuales, auditivos y punto de receptor en la percepción espacial de una fuente sonora mediante los parámetros de ancho aparente de la fuente (ASW y LEV). Esto con el fin de aplicarlo a diseño de salas y análisis de los parámetros acústicos de las mismas no sólo teniendo en cuenta los estímulos auditivos y punto de receptor sino también los visuales. Se hizo mediante una prueba subjetiva de la cual se presenta el desarrollo durante todo el proyecto.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Línea de Investigación de USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sublínea de Facultad de Ingeniería: Procesamiento digital de señales. Campo temático del programa: Acústica y psicoacústica.
9. **METODOLOGÍA:** Es empírico-analítico debido a que se hace un análisis de parámetros por medio de una prueba realizada de manera subjetiva a una muestra de sujetos.
10. **CONCLUSIONES:** Para la primera prueba, el ancho aparente no se vio influenciado por los estímulos visuales, auditivos y el punto de receptor y el nivel de involucramiento tampoco se vio influenciado por los estímulos visuales y los auditivos. El punto de receptor sí influyó en la percepción del LEV. En la segunda prueba, se pudo notar que los estímulos visuales y el punto de receptor generaron una variación importante en la percepción del ancho, estímulo auditivo no generó ningún efecto en la percepción del ASW. Para el LEV los estímulos visuales, auditivos y punto de receptor fueron significativos. Se pudo evidenciar en los resultados mostrados que fue necesario contar con una muestra de sujetos con experticia y entrenamiento auditivo en el conocimiento y percepción de los conceptos a evaluar (ASW y LEV), para la aprobación de la hipótesis de investigación. La media se mantuvo aproximadamente en 4.9 para ambas muestras y ambos parámetros, lo cual se cree que fue generado por el gran tamaño del Teatro Julio Mario Santodomingo.

ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN ESPACIAL DE UNA FUENTE SONORA  
DENTRO DE UN RECINTO ACÚSTICO RESPECTO A ESTÍMULOS VISUALES-  
AUDITIVOS

QUINTERO PEÑA ANA MARÍA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SONIDO  
BOGOTÁ  
2014

ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN ESPACIAL DE UNA FUENTE SONORA  
DENTRO DE UN RECINTO ACÚSTICO RESPECTO A ESTÍMULOS VISUALES-  
AUDITIVOS

QUINTERO PEÑA ANA MARÍA

Proyecto de Grado

Ingeniero Luis Fernando Hermida Cadena

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SONIDO  
BOGOTÁ  
2014

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá 09 de Junio de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis compañeros y amigos, quienes prestaron su talento, tiempo y disposición para ayudarme en todas las etapas del desarrollo del proyecto.

A las personas del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo, por haberme cedido con toda la disposición y amabilidad un tiempo dentro del Teatro y haberme permitido realizar la medición.

A profesores y estudiantes del programa de Ingeniería de sonido, que me colaboraron con unos minutos de su tiempo para poder realizar la prueba.

A todos los de la unidad de Laboratorios de Ingeniería de Sonido, que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme con la mejor actitud.

A mi asesor el Ingeniero Luis Fernando Hermida, quien a pesar de no encontrarse en el país, dedicó tiempo a la revisión y guía para poder llevar a cabo el proyecto de manera satisfactoria.

Por último, a Carlos Quintero y Camilo Gómez, quienes me brindaron de su tiempo para ser luz y guía en los momentos en que los necesité.

## CONTENIDO

	Pág
<b>INTRODUCCIÓN</b>	20
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	22
1.1 ANTECEDENTES	22
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	24
1.3 JUSTIFICACIÓN	24
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.4.1 Objetivo General	25
1.4.2 Objetivos Específicos	25
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	25
1.5.1 Alcances	25
1.5.2 Limitaciones	25
<b>2. MARCO LEGAL Y DE REFERENCIA</b>	26
2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	26
2.1.1 Campos sonoros	26
2.1.1.1 Campo directo	26
2.1.1.2 Campo reverberante	26
2.1.1.3 Distancia crítica	27
2.1.2 Parámetros acústicos	27
2.1.2.1 Ancho aparente de la fuente (ASW)	27
2.1.2.3 Correlación cruzada interaural (IACC)	27

2.1.2.4 Nivel de involucramiento (LEV)	28
2.1.2.5 Correlación cruzada interaural tardía (IACCI)	28
2.1.3 Procesamiento de señales	28
2.1.3.1 Señales de tiempo continuo	28
2.1.3.2 Función delta dirac	29
2.1.3.3 Señales de tiempo discreto	29
2.1.3.4 Sistemas	29
2.1.3.5 Convolución en tiempo discreto	29
2.1.3.6 Respuesta al impulso	29
2.1.4 Procesamiento de video	29
2.1.3.4 Chroma Key	30
2.1.5 Procesamiento de audio	30
2.1.5.1 Respuesta impulsiva de un recinto (RIR)	30
2.1.5.2 Respuesta impulsiva binaural (BRIR)	30
2.1.6 Diseño experimental y análisis estadístico de resultados	31
2.1.6.1 Experimento	31
2.1.6.2 Requisitos para un experimento puro	31
2.1.6.3 Tipos de experimentos "verdaderos"	31
2.1.6.4 Diseños factoriales	32
2.1.6.5 Instrumentos de medición	32
2.1.6.6 Métodos psicométricos	32
2.1.6.7 Diferencial semántico	33
2.1.6.8 Estadística Inferencial	35

2.1.6.9 Tipos de muestra	35
2.1.6.10 Pruebas de hipótesis	36
2.1.6.11 Nivel de significancia	37
2.1.6.12 Valores p	37
2.1.6.13 Error estándar	38
2.1.6.14 Grados de libertad del error	38
2.1.6.15 Least Square Means	38
2.1.6.16 Modelo de ANOVA de un factor	39
2.1.6.17 Modelo de ANOVA de dos factores	39
2.1.6.18 F statistic	40
2.1.6.19 T-test	40
2.1.6.20 Parámetros de Covarianza	41
2.1.6.21 Errores tipo I y tipo II	41
2.1.6.22 Modelos de efectos	41
2.1.6.23 Efectos fijos	42
2.1.6.24 Efectos aleatorios	42
2.1.6.25 Modelos de efectos mixtos	42
2.1.6.26 Tipos de análisis de Modelos lineales de efectos mixtos	43
2.1.6.27 Maximum Likelihood	43
2.1.6.28 REML (Restricted maximum Likelihood)	43
2.1.6.29 MIVQUE (A)	43
2.1.6.30 MIVQUE (0)	44

2.1.6.31 Intercepto	44
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	44
2.2.1 Consentimiento Informado	44
2.2.2 Norma ISO 3382-1: Acústica - Medición del tiempo de reverberación de salas con referencia a otros parámetros acústicos	45
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>47</b>
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.2 LINEA DE INVESTIGACIÓN	47
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	47
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	48
3.5 HIPÓTESIS	48
3.6 VARIABLES	48
3.6.1 Variables Independientes	48
3.6.2 Variables Dependientes	48
3.7 Diagrama de flujo de trabajo realizado en el desarrollo del proyecto	49
3.8 DISEÑO DE PRUEBA DE PERCEPCIÓN ESPACIAL	50
3.8.1 Determinación de hipótesis de estudio	50
3.8.2 Grados de manipulación de las variables independientes	50
3.8.3 Tipo de experimento	51
3.8.4 Instrumento de medición	52
3.8.5 Tamaño de la muestra	52
3.8.6 Diagrama y procedimiento a realizar	53

3.9 SOFTWARE UTILIZADO PARA PROCESAMIENTO DE AUDIO Y VIDEO	54
3.9.1 Easera	54
3.9.2 Matlab 2012	54
3.9.3 Adobe After Effects CS5	54
3.9.4 Pro Tools 11	55
3.9.5 Matlab 2013	55
<b>4. DESARROLLO INGENIERIL</b>	<b>56</b>
4.1 SELECCIÓN DE FUENTES SONORAS	56
4.2 GRABACIÓN DE AUDIO Y VIDEO PARA PROCESAMIENTO DE ESTIMULOS VISUALES Y AUDITIVOS	57
4.2.1 Elementos utilizados para la grabación	57
4.2.2 Medición de campo sonoro en el estudio room del estudio híbrido	58
4.2.3 Grabación de audio y video de intérpretes	58
4.3 MEDICIÓN DE RESPUESTA AL IMPULSO BINAURAL EN TEATRO MAYOR JULIO MARIO SANTODOMINGO	60
4.3.1 Descripción de la sala de estudio: Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo	60
4.3.2 Levantamiento arquitectónico	61
4.3.3 Procedimiento de medición	61
4.3.4 Equipos de medición	62
4.3.5 Medición de ruido de fondo y de campo sonoro	62
4.3.6 Calibración del sistema y del software EASERA	64
4.3.7 Selección y ubicación de puntos de fuente y receptor	64
4.3.8 Análisis de IACC en los puntos de medición	66

4.4 PROCESAMIENTO DE SEÑAL	68
4.4.1 Auralización de las tomas de audio de los intérpretes con las respuestas al impulso	68
4.4.2 Simulación de ubicación espacial del intérprete dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo.	69
4.4.3 Sincronización de audio y video procesado	69
4.4 APLICACIÓN PRUEBAS SUBJETIVAS	70
<b>5 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
5.1 RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA SUBJETIVA REALIZADA	74
5.1.1 Resultados del ASW para la primera prueba subjetiva	75
5.1.2 Resultados del LEV para la primera prueba subjetiva	79
5.2 RESULTADOS DE LA SEGUNDA PRUEBA SUBJETIVA REALIZADA	83
5.2.1 Resultados del ASW para la segunda prueba subjetiva	83
5.2.2 Resultados del LEV para la segunda prueba subjetiva	88
<b>6 CONCLUSIONES</b>	<b>94</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>102</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Valores de IACCe3 y su correspondiente categoría acústica.	28
Tabla 2. Valores de IACCI3 y su correspondiente categoría acústica.	28
Tabla 3. Tabla de valores de ejemplo de LSMean	38
Tabla 4. Tabla de ejemplo de LSMean 2	39
Tabla 5. Tabla de la manipulación de modalidades en grados de variables independientes	50
Tabla 6. Tabla de las combinaciones que se utilizaran para la prueba	51
Tabla 7. Tabla de fuentes utilizadas como estímulo auditivo	56
Tabla 8. Niveles de manipulación del estímulo visual.	57
Tabla 9. Tabla de micrófonos usados por instrumento	57
Tabla 10. Medición de campo sonoro dentro del estudio híbrido	58
Tabla 11. Medición de campo sonoro y ruido de fondo dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo	63
Tabla 12. Número mínimo de posiciones del receptor en función del tamaño del auditorio según la ISO 3382-1	65
Tabla 13. Tabla de valores medidos de IACCe3 por punto	66
Tabla 14. Tabla de valores medidos de IACCI3 por punto	67
Tabla 15. Puntos seleccionados para procesamiento según los valores de Beranek para IACCe3 e IACCI3	67
Tabla 16. Descripción de participantes en prueba subjetiva #1	70
Tabla 17. Características de participantes en prueba subjetiva #2	72
Tabla 18. Información del modelo Lineal de Efectos Mixtos por REML	74
Tabla 19. Datos de los coeficientes de efectos fijos del ASW para la primera prueba	75

Tabla 20. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del ASW para la primera prueba	75
Tabla 21. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de ASW para la primera prueba	76
Tabla 22. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de ASW para la primera prueba	77
Tabla 23. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de ASW para la primera prueba	78
Tabla 24. Datos de los coeficientes de efectos fijos del LEV para la primera prueba	79
Tabla 25. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del LEV para la primera prueba	79
Tabla 26. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de LEV para la primera prueba	80
Tabla 27. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de LEV para la primera prueba	81
Tabla 28. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de LEV para la primera prueba	82
Tabla 29. Información del modelo Lineal de Efectos Mixtos por REML	83
Tabla 30. Datos de los coeficientes de efectos fijos del ASW para la segunda prueba	84
Tabla 31. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del ASW para la segunda prueba	84
Tabla 32. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de ASW para la segunda prueba	85
Tabla 33. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de ASW para la segunda prueba	86
Tabla 34. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de ASW para la segunda prueba	87

Tabla 35. Datos de los coeficientes de efectos fijos del LEV para la segunda prueba	88
Tabla 36. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del LEV para la segunda prueba	88
Tabla 37. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de LEV para la segunda prueba	89
Tabla 38. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de LEV para la segunda prueba	90
Tabla 39. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de LEV para la segunda prueba	91
Tabla 40. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del ASW para la primera prueba	91
Tabla 41. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del LEV para la primera prueba	92
Tabla 42. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del ASW para la segunda prueba	92
Tabla 43. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del LEV para la segunda prueba	92
Tabla 44. Datos de media por prueba subjetiva y parámetro de espacialidad	93
Tabla 45. Datos de desviación estándar por prueba subjetiva y parámetro de espacialidad	93

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
5	
Figura 1. Comportamiento del campo sonoro dentro de un recinto acústico según Millan17.	26
Figura 2. Gráfica de convolución en tiempo discreto	30
Figura 3. Diagrama de flujo del trabajo realizado durante todo el proyecto	49
Figura 4. Diagrama de flujo del trabajo realizado durante todo el diseño del experimento.	49
Figura 5. Esquema a utilizar para realización de la prueba	54
Figura 6. Imagen de esquema de luz para grabación de videos en chroma key	59
Figura 7. Montaje de luces y micrófonos para la batería	59
Figura 8. Vista superior del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo	60
Figura 9. Vista superior Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo	61
Figura 10. Vista superior planta inferior del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo	61
Figura 11. Gráfica de los puntos de medición de ruido de fondo	62
Figura 12. Imagen de los puntos de medición de campo sonoro y ubicación de la distancia crítica	63
Figura 13. Gráfica de la distribución de las 3 posiciones de fuente en el escenario.	64
Figura 14. Imagen de ubicación de fuente y punto de receptor 2.	64
Figura 15. Imagen del punto número 6 de receptor	65
Figura 16. Gráfica de ubicación y distribución de puntos de medición de BRIR.	66
Figura 17. Imagen de la interfaz gráfica de Matlab para procesamiento de audio	68
Figura 18. Diagrama de bloques de procedimiento de convolución en Matlab.	69
Figura 19. Visualización de video siendo procesado en Adobe After Effects CS5	69
Figura 20. Imagen de sincronización de audio y video en Pro Tools 11	70
Figura 21. Participante realizando la primera prueba subjetiva	71

Figura 22. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Visual para la primera prueba	76
Figura 23. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Auditory para la primera prueba	77
Figura 24. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Receptor para la primera prueba	78
Figura 25. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Visual para la primera prueba	80
Figura 26. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Auditory para la primera prueba	81
Figura 27. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Receptor para la primera prueba	82
Figura 28. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Visual para la segunda prueba	85
Figura 29. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Auditory para la segunda prueba	86
Figura 30. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Receptor para la segunda prueba	87
Figura 31. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Visual para la segunda prueba	89
Figura 32. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Auditory para la segunda prueba	90
Figura 33. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Receptor para la segunda prueba	91

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** Ejemplo de aplicación del diferencial semántico.

**ANEXO B.** Prueba subjetiva de percepción espacial aplicada.

**ANEXO C.** Consentimiento informado utilizado para la primera aplicación de la prueba

**ANEXO D.** Consentimiento informado utilizado para la segunda aplicación de la prueba

**ANEXO E.** Especificaciones técnicas de los transductores de la cabeza binaural

**ANEXO F.** Tabla de valores críticos de F.

## GLOSARIO

**ASW:** El ancho aparente de una fuente sonora es uno de los dos parámetros que describen de manera perceptual la impresión espacial de una fuente. Se define como la sensación de que el sonido proveniente de la fuente es de mayor tamaño que el generado.

**LEV:** El nivel de involucrimiento es el segundo parámetro de percepción que constituye el concepto de percepción espacial de una fuente sonora. Se define como la cantidad de involucrimiento percibido por un oyente, proveniente del campo sonoro generado por una fuente sonora.

**SISTEMA:** una colección de uno o más dispositivos, procesos o algoritmos implementados por computadora, que operan sobre una señal de entrada  $x$  para producir una señal de salida  $y$ .

**CHROMA KEY:** El chroma key es un método de procesamiento de video que busca remover píxeles de color de una imagen o video.

**EXPERIMENTO:** El término experimento puede tener al menos dos definiciones, una general y otra particular. La general habla de realizar una acción para luego observar el comportamiento y resultado de dicha acción, es en estos casos en los que se habla sobre "experimentar". El segundo concepto se refiere a un estudio de investigación en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas) para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador.

**DIFERENCIAL SEMÁNTICO:** El diferencial semántico es un instrumento de recolección de datos que consisten en utilizar en los extremos de una escala de puntuación dos adjetivos extremos. El sujeto de experimentación debe dar su respuesta en cuanto a la actitud asumida respecto a la escala y los adjetivos bipolares colocados en los extremos.

**MODELOS LINEALES DE EFECTOS MIXTOS:** Muchos modelos estadísticos comunes pueden ser expresados como modelos lineales. Un modelo lineal de efectos mixtos es aquel que incorpora tanto efectos fijos, que son parámetros asociados con una población total o con ciertos niveles repetitivos de factores experimentales, como efectos aleatorios, que están asociados con unidades individuales experimentales seleccionadas de manera aleatoria de una población.

**INTERCEPTO:** Es el valor de la media esperado para  $Y$  cuando todos los  $X=0$ . Si  $X$  nunca es igual a cero entonces el intercepto no tiene ningún valor intrínseco. En investigación científica el propósito del modelo de regresión es entender la relación entre las variables predictivas y la de respuesta.

## RESUMEN

Una prueba subjetiva se llevó a cabo con el fin de conocer si los estímulos visuales, auditivos y punto de receptor influyen en los parámetros de impresión de espacialidad ASW y LEV de una fuente sonora. Para esta prueba se hicieron grabaciones de audio y de video. En las grabaciones de audio se tomaron mediciones de respuesta al impulso dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo y se convolucionaron con 3 audios de instrumentos (voz, guitarra y batería). Para las tomas de video se grabaron los mismos instrumentos con una cámara y en los puntos donde se tomó la respuesta al impulso se tomaron muestras fotográficas que luego fueron procesadas con los videos de los instrumentos por medio de un efecto de video de fondo verde o chroma key. Una vez procesados los videos se aplicó la prueba a dos muestras (una probabilística y una no probabilística) en la cual por medio de un diferencial semántico se recolecto la información de percepción de espacialidad de los sujetos con respecto a 3 videos observados. Los resultados de la prueba sugieren que para la prueba realizada a la primera muestra, las variables independientes (visual, auditivo y punto de receptor) no obtuvieron significancia en las variables dependientes de espacialidad. Para la segunda prueba por el contrario se pudo probar la hipótesis de investigación según la cual, estímulos visuales, auditivos y punto de receptor tienen un efecto en la percepción espacial de una fuente sonora dentro de un recinto acústico.

**Palabras clave:** ESTÍMULO VISUAL, ESTÍMULO AUDITIVO, PUNTO DE RECEPTOR, IMPRESIÓN ESPACIAL, ASW, LEV, SIGNIFICANCIA, MUESTRA PROBABILÍSTICA, MUESTRA NO PROBABILÍSTICA.

## INTRODUCCIÓN

La transducción de señales acústicas y visuales se lleva a cabo de manera independiente en el cuerpo humano. Son los ojos y los oídos los transductores encargados de convertir los estímulos físicos emitidos por un objeto en impulsos eléctricos que posteriormente van hacia el cerebro para ser analizados. Sin embargo, el análisis de ésta información se hace de manera conjunta dando como resultado una percepción unificada de dicho objeto. Se ha encontrado que una combinación acoplada de audio y video mejora la evaluación de ambos estímulos.

Los estímulos visuales y auditivos se correlacionan de manera que, los estímulos visuales influyen la manera en la que se percibe una fuente sonora, debido a que éstos prevalecen sobre la percepción espacial, mientras que los estímulos auditivos sobre la percepción temporal. Teniendo en cuenta esto y sabiendo que la ubicación del oyente dentro de una sala modifica la percepción de espacialidad de la fuente sonora que se está emitiendo, es importante evaluar cómo los estímulos visuales, las fuentes sonoras y la ubicación de un oyente dentro de un recinto acústico modifican los componentes que describen la percepción espacial de un oyente que son el ancho aparente de la fuente (ASW) y el nivel de involucramiento (LEV).

Con el fin de conocer el comportamiento del ASW y LEV respecto a los tres parámetros mencionados, se diseñó una prueba que permitiera medir cómo varía la impresión espacial de una fuente al modificar los estímulos visuales-auditivos y el punto de receptor. Para los estímulos auditivos, se realizaron mediciones de respuesta al impulso binaural en seis puntos en el Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo y se convolucionaron con los audios de tres intérpretes (voz, guitarra y batería) grabados en campo directo. Para los estímulos visuales, se tomaron muestras fotográficas del escenario del teatro, desde cada uno de los puntos de medición y se hizo un procesamiento de video por medio de Chroma Key con muestras de video tomadas de los intérpretes en el momento de la grabación del audio. Por último se hizo la sincronización de las muestras de audio resultantes de la convolución con las muestras de video resultantes del procesamiento por Chroma Key.

Posterior a esto se realizaron dos pruebas subjetivas. En cada una de éstas se solicitó a los participantes brindar la percepción de ASW y LEV de tres muestras de video, las cuales contenían variaciones de estímulos visuales, auditivos y de punto de receptor. La primera muestra de sujetos se conformó por 24 participantes, los cuales conocían los conceptos a evaluar de forma general. La segunda muestra fue conformada por 13 participantes, los cuales conocían de manera profunda los conceptos a evaluar y además tenían una mejor calidad auditiva.

Se encontró que la hipótesis de investigación es cierta para los conceptos de ASW y LEV si se tiene una muestra de sujetos con suficiente experticia y entrenamiento auditivo, ya que los resultados encontrados en la primera prueba no permitieron

llegar a dicha conclusión, mientras que los segundos pudieron determinar que los estímulos visuales, los auditivos y el punto de receptor influyen en la percepción espacial de una fuente sonora dentro de un recinto acústico.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 ANTECEDENTES

Diversas investigaciones relacionadas al estudio de la correlación e integración sensorial existente entre señales visuales y auditivas han sido llevadas a cabo. En 1994 Iwamiya<sup>10</sup>, realizó experimentos para la exploración de percepciones mediante interacciones de correlaciones audiovisuales creando una diferencia en tiempo en la reproducción de un estímulo con respecto al otro. Iwamiya<sup>10</sup> pudo notar que una combinación de sonido y video mejora la percepción de ambos y que cuando la calidad auditiva se ve limitada, la información visual la compensa. De lo contrario, evidenció que la calidad auditiva parece no afectar el procesamiento visual. En la investigación de Recanzone<sup>28</sup> se habla acerca de la integración que existe entre estímulos sensoriales en el sistema nervioso para lograr un mejor concepto del ambiente que rodea al sujeto, de manera específica sobre la relación que existe entre los estímulos visuales y auditivos y la percepción de espacialidad y temporalidad. Dada esta condición de integración de sensaciones visuales y auditivas, se concluyó que los estímulos visuales guían la percepción espacial y el sistema auditivo guía la percepción temporal. De manera similar, Lewald, J; Ehrestein, W y Guski, R<sup>16</sup>, estudiaron que la coherencia perceptual de la información auditiva y visual es lograda por procesos cerebrales integrados. Los sujetos de estudio debían indicar el punto de alineamiento subjetivo espacial para un estímulo visual en movimiento horizontal que cruza la posición de una fuente estacionaria de sonido. Los resultados sugieren una ventana espacio-temporal para la integración auditiva-visual que se extiende por encima de 100ms y 3° cuando los estímulos se encuentran dentro de esta ventana. En el año 2005, Zampini, M; Guest, S; Shore, D.I y Spence, C<sup>40</sup> estudiaron la influencia de los factores espaciales y temporales en la percepción audio-visual simultánea en humanos. En la prueba realizada los participantes debían reportar si los estímulos eran simultáneos cuando se originaban desde la misma posición y cuando no, demostrando que la apariencia aparente de la simultaneidad multisensorial es dependiente de la posición relativa espacial desde donde se presentan los estímulos.

Con respecto a los estudios mencionados, se han realizado investigaciones que incluyen la integración audiovisual para ser aplicada en el ámbito de la acústica arquitectónica. En el trabajo realizado por Yadav, M; Cabrera, D y Martens, W.L39 en el 2011 se colocó un sujeto emisor-receptor a escuchar su propia voz en una sala, de tal manera que recibiera información acerca de las características acústicas de dicha sala. Se complementó dicha información con información de la sensación visual. Se encontró que el tamaño de la sala percibido por el oído puede ser diferente del percibido de manera visual. Se encontró que ésta combinación de estímulos audiovisuales aplicados a la acústica puede generar cierta preferencia en los oyentes cuando se encuentran al interior de un recinto acústico. Jeon, J y Kim, Y11 en 2006, encontraron que la combinación de señales auditivas y visuales era significativa en los juicios de preferencia de una ubicación del espectador dentro de teatro de ópera. Los investigadores usaron fotografías tomadas del teatro en diferentes posiciones de éste y las presentaron a los sujetos de estudio junto con un audio de respuesta binaural del ambiente del teatro en cada silla. Se encontró que para el experimento visual, la preferencia se ve afectada principalmente por el ángulo de la línea del centro y puede ser degradado por una obstrucción de la vista del escenario y factores relacionados con la distancia. Para el experimento auditivo, se encontró que el SPL es el factor principal para determinar la preferencia auditiva. Así como también lo es la claridad. Finalmente para el experimento intermodal se halló que ambas (calidad acústica y visual percibida) se correlacionan para lograr una evaluación positiva de la calidad acústica visual de la sala. La calidad auditiva es más influyente en la preferencia pero se encontró también que las calidades visuales y auditivas se compensan de manera que deben ser tenidas en cuenta con cuidado para el diseño de teatros. En 2008 se encontró que no sólo estos estímulos influyen en la preferencia del oyente sino en su percepción de espacialidad. Valente, D y Braasch31, J hicieron un experimento donde se presentó un catalogo de archivo de 5 intérpretes musicales/hablantes para 4 diferentes posiciones de escucha dentro de una sala de múltiples propósitos. En adición a los videos, fueron presentadas las señales acústicas que fueron auralizadas utilizando la respuesta al impulso (BRIR) que fue grabada en la misma sala multipropósito. Se les pidió a los participantes ajustar la relación de proporción energía directa-reverberante (D/R ratio) del BRIR de acuerdo con sus expectativas considerando las señales visuales. También fueron dirigidos a calificar el ancho aparente de la fuente (ASW) y el envolvimiento del oyente (LEV) para cada condición. Las señales visuales generadas cambiando la posición de la fuente sonora en el espacio multipropósito así como la composición de los estímulos sonoros, afectan el juicio de la impresión espacial. Se encontró que los participantes escalaron la proporción de la relación con mayor energía del sonido directo que el que se midió en el ambiente acústico.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La percepción auditiva de un sujeto con respecto a parámetros acústicos de una sala, ha sido siempre el interés principal de quienes se dedican al diseño y construcción de salas de múltiples propósitos. Sin embargo, otros tipos de estímulos influyen en la manera en que se percibe la espacialidad de una fuente sonora al interior de una sala.

La percepción sensorial del ambiente que rodea al ser humano, se hace de manera que dos o más sentidos trabajan de manera conjunta para lograr una evaluación e identificación de un objeto por sus diferentes características. Parámetros de espacialidad de una fuente como el ancho aparente y el nivel de involucramiento de ésta, se ven influenciados por la forma en que el sujeto identifica visualmente el entorno acústico que lo rodea. Todo esto debido a que, se ha encontrado que al momento de hacer la evaluación de un objeto de forma visual y auditiva de manera correlacionada, estímulos auditivos se encargan de la percepción temporal y estímulos visuales de la percepción espacial.

Pensando en un diseño más completo que tenga en cuenta las percepciones visuales y auditivas: ***¿Cómo influyen los estímulos visuales-auditivos y las características acústicas de una sala en la percepción espacial de una fuente sonora?***

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Generalmente, el diseño arquitectónico y la construcción de espacios de múltiples propósitos omiten estudios acerca de la influencia que estímulos visuales de una fuente sonora al interior de un recinto, tienen sobre la percepción espacial de la fuente de quienes utilizan este espacio. Pocos estudios se han realizado con respecto a la percepción espacial que se genera debido a la relación de sensaciones visuales-auditivas y las variaciones generadas al hacer dicho estudio dentro de un recinto acústico.

Es por esto que se hace necesario un estudio en el cual se pueda analizar la relación entre los parámetros acústicos de una sala con las señales auditivas-visuales que emite una fuente y la forma en que el sujeto en estudio las percibe. Permite identificar a través del análisis de percepción, la importancia de los estímulos visuales-acústicos para la futura implementación de esto en la evaluación de parámetros psicoacústicos de una sala. Beneficiará especialmente

a músicos, intérpretes, conferencistas, ingenieros, diseñadores y en general a quienes hacen estudios de percepción respecto a la acústica.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar la influencia que tienen señales visuales-auditivas y las características acústicas de una sala en la percepción del ASW y el LEV de una fuente sonora.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Establecer las señales auditivas-visuales que se utilizarán en la prueba.
- Diseñar e implementar una prueba que permita hacer la evaluación del ASW y el LEV con respecto a los estímulos visuales- auditivos y la acústica de la sala.
- Establecer las relaciones entre parámetros acústicos subjetivos y percepciones auditivas-visuales del sujeto en estudio.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

### **1.5.1 Alcances**

- El proyecto permitirá estudios futuros relacionados con la percepción y el análisis de salas con respecto a parámetros visuales y auditivos.
- Implementar nuevos parámetros de evaluación y diseño de salas, generando diseños que incluyan un análisis visual de la misma.
- Detectar la respuesta de los sujetos de estudio con respecto a la espacialidad de la sala.

### **1.5.2 Limitaciones**

- El análisis de IACC tempranos y tardíos se hizo para la caracterización del ASW y LEV, respectivamente.

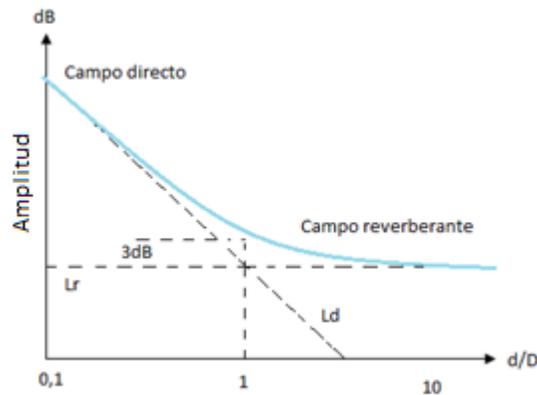
## 2. MARCO LEGAL Y DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1.1 Campos sonoros

El campo sonoro dentro de un recinto acústico se divide en dos: el campo directo y el campo reverberante. Según Millán<sup>22</sup> el campo sonoro se comporta como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Comportamiento del campo sonoro dentro de un recinto acústico según Millán<sup>17</sup>.



##### 2.1.1.1 Campo directo

El campo directo es generado por la interacción del sonido directo proveniente de la fuente y el receptor. Según Vendrell<sup>32</sup>: "Una fuente acústica con una potencia específica y situada al aire libre crea un campo acústico en su entorno" a esto se le conoce como el campo directo y se expresa por medio de la ecuación (1).

$$\rho_{ED} = \frac{W}{4\pi cr^2} \quad (1)$$

##### 2.1.1.2 Campo reverberante

El campo reverberante se compone de las reflexiones ocasionadas por las superficies reflejantes dentro del recinto acústico.

La densidad de energía reverberada toma el valor dado por la ecuación (2), descrita por Vendrell<sup>32</sup>.

$$\rho_{ER} = \frac{4W}{cA} \quad (2)$$

### 2.1.1.3 Distancia Crítica

La distancia crítica es la distancia en la cual el campo cambia su condición de directo a reverberante. Esto quiere decir que entre mayor sea la distancia crítica, el área cubierta por el campo directo será mayor. Igualmente, entre menor sea la distancia crítica, mayor será la envergadura del campo reverberante dentro del recinto. Vendrell<sup>32</sup> expresa la ecuación (3) para calcular la distancia crítica.

$$r_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3)$$

### 2.1.2 Parámetros acústicos

#### 2.1.2.1 Ancho aparente de la fuente (ASW)

El ancho aparente de una fuente sonora es uno de los dos parámetros que describen de manera perceptual la impresión espacial de una fuente. Entre mayor sea el ancho aparente de la fuente, mayor será dicha impresión y se tendrá una mejor evaluación de la calidad acústica del recinto. Se define como la sensación de que el sonido proveniente de la fuente es de mayor tamaño que el generado. Se relaciona con la disimilitud entre las señales que llegan a un oído y a otro, entre mayor sea la disimilitud, de igual forma mayor será la impresión del ancho aparente. El parámetro que permite estimar dicha disimilitud es la correlación cruzada interaural (IACC).

#### 2.1.2.2 Correlación Cruzada Interaural (IACC)

Como se mencionó anteriormente, la correlación cruzada interaural (IACC) es el parámetro que permite conocer qué tan relacionada se encuentra una señal que llega a un oído con respecto al otro, esto permite conocer el grado de similitud entre estas dos señales. Se definen dos clases de IACC dependiendo del tiempo de llegada del sonido. El IACC temprano, el cual se establece para los primeros 80ms y el IACC tardío que va desde los 80ms a 1s de la llegada del sonido directo. Se ha encontrado que las bandas de frecuencia más significativas son las frecuencias centrales de 500Hz, 1kHz y 2kHz, por lo cual se generan los parámetros de IACCe3 (en las 3 bandas), e IACCi3. Según Carrión<sup>4</sup> a medida que las señales presentan mayor similitud, el IACC valdrá 1, mientras que si son señales aleatorias independientes será 0.

$$0 \leq IACC \leq 1$$

Es decir, entre mayor sea el valor del IACC, menor será el ASW y entre menor sea el IACC, mayor será el ASW. Para efectos prácticos se utiliza el valor de 1-IACCe3 o también llamado BQI debido a que al aumentar el valor de éste, se presenta un aumento del ASW y viceversa.

En la Tabla 1, se indican los valores medios de (1-IACCe3) y su correspondencia con dichas categorías, según Beranek<sup>1</sup>.

Tabla 1. Valores de IACCe3 y su correspondiente categoría acústica.

(1-IACCe3)	Categoría acústica de las salas
0,66	Excelente
0,55	Muy Buena
0,41	Aceptable/Buena

### 2.1.2.3 Nivel de envolvimiento (LEV)

El nivel de envolvimiento es el segundo parámetro de percepción que constituye el concepto de percepción espacial de una fuente sonora. Se define como la cantidad de envolvimiento percibido por un oyente, proveniente del campo sonoro generado por una fuente sonora. Según Carrión<sup>4</sup>, el nivel de envolvimiento constituye un parámetro aún más importante que el ancho aparente de la fuente en la evaluación de la calidad acústica de salas y es generado por reflexiones laterales tardías, por lo que el IACC tardío constituye un elemento importante para la estimación del nivel de envolvimiento.

### 2.1.2.4 Correlación cruzada interaural tardía (IACCI)

El IACCI<sub>3</sub> se define como la correlación cruzada interaural ocurrida desde los 80ms a 1s de la llegada del sonido directo en las tres bandas significativas de 500Hz, 1kHz y 2kHz. Entre mayor sea el valor del IACCI<sub>3</sub> menor es el nivel de envolvimiento percibido y viceversa. Es por esto que se suele utilizar el valor de 1-IACCI<sub>3</sub> debido a que a mayores valores de éste, mayor percepción del nivel de envolvimiento. Según lo descrito por Carrión<sup>4</sup>, "a diferencia de lo que sucede con el IACCe3 su fiabilidad es estadísticamente baja, puesto que los valores medios de 1-IACCI<sub>3</sub> medidos en un conjunto de salas pertenecientes a tres categorías diferentes, son muy parecidos entre sí", según lo observado en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de IACCI<sub>3</sub> y su correspondiente categoría acústica.

(1-IACCI <sub>3</sub> )	Categoría acústica de la sala
0.88	Excelente
0.87	Muy buena/Excelente
0.85	Buena

## 2.1.3 Procesamiento de señales

### 2.1.3.1 Señales de tiempo continuo

Según Kamen<sup>14</sup>, " Una señal  $x(t)$ , es una función con valor real o escalar de la variable de tiempo  $t$ ". Esto quiere decir que para cualquier valor de  $t$  existe un valor

en la función y es un valor real. Algunos ejemplos de señales de tiempo continuo que pueden ser encontradas en la naturaleza, son el voltaje u ondas de corriente, señales de audio, velocidades de objetos, entre otras, según lo mencionado por Kamen13.

### 2.1.3.2 Función delta dirac

El impulso delta dirac se define según Kamen14 por la siguiente expresión:

$$\delta(t) = 0, t \neq 0$$

$$\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \delta(\lambda) d\lambda = 1, \text{ para cualquier número real } \varepsilon > 0$$

Lo que significa que el pulso tiene área unitaria y tiene un valor de 1 cuando  $t$  es cero y cero para cualquier otro valor diferente de cero.

### 2.1.3.3 Señales de tiempo discreto

Una señal de tiempo discreto es una señal que toma valores en función de la variable de tiempo  $t$  cuando éste toma valores discretos, es decir valores enteros. Según Kamen14, éste tipos de señales surgen en muchas áreas de la ingeniería, economía y ciencia.

### 2.1.3.4 Sistemas

Un sistema es según Kamen14: "una colección de uno o más dispositivos, procesos o algoritmos implementados por computadora, que operan sobre una señal de entrada  $x$  para producir una señal de salida  $y$ ". Es decir, un sistema es un dispositivo que es capaz de modificar una entrada que le es aplicada, imprimirle sus características y produciendo una salida, la cual dependiendo del tipo de señal de entrada puede ser análoga o digital.

### 2.1.3.5 Convolución en tiempo discreto

Teniendo dos señales en tiempo discreto  $x[n]$  y  $v[n]$ , su convolución definida por Kamen14 es:

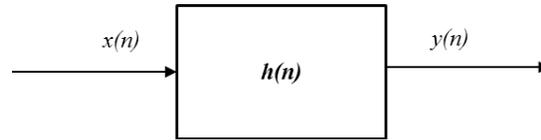
$$x[n] * v[n] = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x[i]v[n-i] \quad (4)$$

El término del lado derecho es llamado suma de convolución. Es importante recordar que la convolución es una operación conmutativa, por lo tanto:

$$\sum_{i=-\infty}^{\infty} x[i]v[n-i] = \sum_{i=-\infty}^{\infty} v[i]x[n-i] \quad (5)$$

En la Figura 2 se puede observar el procedimiento de la convolución.

Figura 2. Gráfica de convolución en tiempo discreto



### 2.1.3.6 Respuesta al impulso

La respuesta al impulso de un sistema es, como su nombre lo indica, la respuesta de un sistema a una señal de entrada considerada un pulso unitario. Esta entrada puede ser representada por la expresión de Oppenheim<sup>23</sup>:

$$u[n] = \sum_{k=0}^{+\infty} \delta[n - k] \quad (6)$$

Con dicha entrada, la salida de un sistema lineal se puede considerar como:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[k]h_k[n] \quad (7)$$

## 2.1.4 Procesamiento de video

### 2.1.4.1 Chroma Key

El chroma key es un método de procesamiento de video que busca remover píxeles de color de una imagen o video. Cuando se tiene un fondo de color verde y se selecciona, la herramienta utilizada lo busca en la capa superficial y lo hace ver transparente revelando la imagen en la capa del fondo. Usualmente un buen compositor de chroma key, conoce bien cómo manejar sombras y transparencias, utilizando el desenfoque, según lo mencionado por Foster<sup>7</sup>.

Wright<sup>31</sup> dice que "En realidad el chroma key tiene en cuenta tres aspectos de la imagen: el color de tono, la saturación y el brillo".

## 2.1.5 Procesamiento de audio

### 2.1.5.1 Respuesta impulsiva de un recinto (RIR)

Tomando como partida que un recinto acústico se comporta como un sistema LTI, la respuesta al impulso describe las características acústicas de dicho recinto, esto en cuanto a cómo se propaga el sonido al interior de éste. Jerub<sup>12</sup>.

### 2.1.5.2 Respuesta impulsiva binaural (BRIR)

Teniendo en cuenta lo descrito por Jerub<sup>12</sup> en el punto anterior, el término "Binaural" es usado para mediciones en las cuales se usa una cabeza artificial con micrófonos posicionados cerca del pabellón auditivo.

## **2.1.6 Diseño experimental y análisis estadístico de resultados**

### **2.1.6.1 Experimento**

El término experimento puede tener al menos dos definiciones, una general y otra particular. La general habla de realizar una acción para luego observar el comportamiento y resultado de dicha acción, es en estos casos en los que se habla sobre "experimentar". El segundo concepto según Hernández<sup>9</sup>, se refiere a "un estudio de investigación en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas) para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador".

### **2.1.6.2 Requisitos para un experimento puro**

Según Hernandez<sup>8</sup>, todo tipo de experimento puro tiene tres requisitos.

El primero de ellos es el grado de manipulación de las variables independientes. Al generar variaciones en éstas, se generan variaciones en las dependientes, si existe algún tipo de relación entre ambas. Midiendo la respuesta de las variables dependientes se halla el efecto que las independientes tienen sobre éstas. Los grados de manipulación se dividen en: presencia-ausencia, más de dos grados, modalidades de manipulación en lugar de grados, según lo mencionado por Hernández<sup>9</sup>.

El segundo requisito es la validez y confiabilidad, ya que con esto se puede confiar en la validez de los datos.

El último requisito es el control o validez interna del experimento, el cual se encarga de verificar que el efecto en las variables dependientes al modificarse las independientes, sea generado por dicha manipulación y no a otros factores externos.

### **2.1.6.3 Tipos de experimentos "verdaderos"**

Los experimentos "verdaderos", según Hernández<sup>9</sup> son aquellos que reúnen los dos requisitos para lograr el control y la validez interna: 1) Grupos de comparación y 2) equivalencia de los grupos.

Entre estos se encuentran:

- Diseño con postprueba únicamente y grupo de control
- Diseño con preprueba-postprueba y grupo de control
- Diseño de cuatro grupos de solomon
- Diseños experimentales de series cronológicas múltiples
- Diseños de series cronológicas con repetición del estímulo
- Diseños con tratamientos múltiples
- Diseños factoriales

#### **2.1.6.4 Diseños factoriales**

En los diseños factoriales se hacen combinaciones de todos los niveles de cada una de las variables independientes. Para desarrollar un experimento por medio de un diseño factorial es necesario tener al menos dos variables con dos niveles cada una. Según Hernández<sup>9</sup> el diseño factorial es preferido debido a que tiene alta validez interna y porque con este es posible observar el comportamiento de las variables independientes y además la interacción existente entre ellas.

#### **2.1.6.5 Instrumentos de medición**

Todo instrumento que sirva para recolección de datos de un experimento debe poseer dos características importantes: confiabilidad y validez. La primera se refiere a que el instrumento al ser aplicado repetidas veces al sujeto de observación, debe brindar resultados iguales.

La segunda en cuanto a que el instrumento sea capaz de medir la variable que se necesita observar para el experimento.

Según Hernández<sup>9</sup>, para garantizar esto, existen dos formas de seleccionar un instrumento de medición.

La primera es elegir un instrumento previamente desarrollado el cual tenga una validez y confiabilidad que haya sido probada previamente.

La segunda es diseñar el instrumento de acuerdo con la técnica apropiada y teniendo en cuenta los parámetros de confiabilidad y validez.

#### **2.1.6.6 Métodos psicométricos**

Existen múltiples métodos psicométricos que pueden ser utilizados para la realización de pruebas subjetivas y recolección de información para una investigación. A continuación se mencionan las que se consideraron que podían haber sido utilizadas para el propósito de la investigación, según lo descrito por Guilford<sup>8</sup>.

- **Método de comparación de pares**

Hace parte de un grupo de métodos conocidos como métodos de escalamiento psicológico. Todos los estímulos a ser evaluados son de naturaleza similar y deben ser presentados al observador en todos los posibles pares, el observador debe juzgar si existe mayor cantidad en un aspecto de un par con respecto al otro. A esta respuesta por parte del observador se le conoce como juicio comparativo.

- **El método de orden jerárquico**

Su atractivo consiste principalmente en su aplicabilidad y su facilidad en la que un gran número de estímulos puede ser juzgado con respecto a otros. En este método es posible utilizar cualquier estímulo que pueda ser manipulado de cualquier forma en que pueda ser colocado en un orden serial o jerárquico.

Obliga al observador a dar el número máximo de discriminaciones y permite obtener la mayor información de estos como sea posible.

- El método de categorías sucesivas

En este se incluye lo que se le llama métodos de estímulos individuales y los métodos de calificación donde se hacen juicios categóricos. Básicamente consiste en clasificar en número finito de categorías a los estímulos evaluados que difieren de manera cuantitativa.

- Escalas de actitud

Actitud: Una actitud según Guilford es: "una disposición personal común a individuos, que posee diferentes grados e impulsa a obtener una reacción ante objetos, situaciones o proposiciones de una forma que puede ser llamada favorable o desfavorable".

- El método de construcción de escalas Thurstone

Thurstone fue el primero en sugerir que las opiniones pueden ser calibradas y que las actitudes sociales se pueden medir por medio de las opiniones que un sujeto asuma como propias.

La prueba se desarrolla de manera que se establece la pregunta a la cual se busca encontrar una escala de actitud. Posteriormente se pide a un gran grupo de personas que expresen de manera espontánea lo que piensan de dicho tema o pregunta. Se selecciona una muestra de estas declaraciones y se editan de manera que sean cortas y puntuales. Se colocan las declaraciones seleccionadas en una tarjeta de manera que las neutrales se colocan en el centro y las fijas en la parte superior e inferior de dicha tarjeta.

Cuando la escala terminada de actitudes es administrada para encontrar sus puntuaciones de actitud, el procedimiento habitual ha sido pedir que se revise cada opinión que se les aplica. La puntuación del sujeto se toma como la media o la mediana de los valores de la escala de opiniones.

- El método de Likert

Sus ítems son de tipo selección múltiple con tres respuestas como "sí", "?" o "no", cinco respuestas "firmemente aprobado", "indeciso", "fuertemente desaprobado". Descubrió que los valores enteros de 1 a 5 en los cinco reactivos de opción y de 2 a 4 en los tres ítems de selección dieron puntuaciones tan fiables como los valores de categoría de escala, y las dos puntuaciones se correlacionaron esencialmente perfectamente.

#### **2.1.6.7 Diferencial semántico**

El diferencial semántico es un instrumento de recolección de datos que consisten en utilizar en los extremos de una escala de puntuación dos adjetivos extremos. El sujeto de experimentación debe dar su respuesta en cuanto a la actitud asumida respecto a la escala y los adjetivos bipolares colocados en los extremos.

Según Hernández<sup>9</sup>, el diferencial semántico fue desarrollado por Osgood, Suci y Tannenbaum para explorar las dimensiones del significado.

En el diseño del diferencial semántico existen 3 tipos de escalas propuestas por Osgood, Suci y Tannenbaum<sup>25</sup>.

- Análisis I: factorización centroide, método gráfico.

El propósito de este estudio es el de medir los significados de ciertas cosas de varias personas, haciéndolos juzgarlos en contra de una serie de escalas descriptivas. Se usaron dos tipos de diferenciales gráficos (escalas) y un procedimiento de latencia.

Los dos métodos gráficos son llamados Forma I y Forma I. Estos son aplicables a grupos de cualquier tamaño y difieren principalmente en la forma en que se emparejan conceptos con escalas. La forma I se presenta a continuación:

Lady rough \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_smooth  
Me fair \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_unfair, etc.

Cada concepto en mayúscula aparece en la misma línea que la escala contra el que está siendo juzgado, y los elementos se ordenan de tal manera que el máximo número de diferentes conceptos y escalas se producen entre las repeticiones de cada concepto y la escala.

La forma II es presentada a continuación:

LADY

rough \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_smooth  
fair \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_unfair  
active\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_passive, etc.

Aquí el orden de conceptos para diferentes sujetos puede variar, pero la forma de mismo diferencial es constante (es decir, el mismo ordenamiento de escalas y una dirección de polaridad constante para cada escala). Esta forma tiene la ventaja de ser fácil de marcar. También tiene las ventajas de una mayor constancia en el sentido del objeto a ser juzgado y de que es mucho más satisfactorio para los sujetos del experimento.

- Análisis II: factorización, método de selección forzada.

Hubo una cuestión de si los resultados de los factores eran de alguna manera una función del método gráfico y no aparecerían cuando solamente los propios términos polares fueron asociados por otra técnica. El segundo factor de análisis fue un intento de eliminar estas posibilidades.

El método utilizado implica una elección forzada entre pares de términos polares como a la dirección de su relación. Dada la siguiente partida, por ejemplo:

SHARP-dull; relaxed-tense

Se pidió al sujeto que encerrar en un círculo el concepto del segundo par de conceptos que parezca más cercano al significado del miembro en mayúscula del primer par. No hay restricción en los conceptos.

- **Análisis III:**

En este caso (en comparación con el análisis I), el sujeto juzga el mismo concepto en contra de una serie de escalas antes de cambiar a otro concepto. En éste, un sólo concepto es tenido en mente mientras se hace una serie de juicios. Se le pidió a los sujetos calificar 20 folletos (un folleto por concepto) de 4 páginas cada uno, el en cual debían calificar inicialmente la primera página de cada folleto, luego la segunda y así sucesivamente.

El diferencial semántico fue seleccionado de entre los distintos métodos psicométricos por ser una prueba de actitud, esto significa que permite evaluar la actitud de un sujeto frente a objetos, situaciones, etc. Como segunda medida se consideró apropiada la escala de análisis I debido a su facilidad, corto tiempo de aplicación y cantidad de puntuaciones entre conceptos.

#### **2.1.6.8 Estadística inferencial**

Se le llama estadística inferencial a la realización de experimentos a una muestra representativa de una población, a partir de los cuales se tomen datos que permitan generalizar los resultados a una población de sujetos. Según Walpole<sup>34</sup> el propósito de una investigación va más allá de describir las distribuciones de las variables.

#### **2.1.6.9 Tipos de muestra**

Existen dos tipos de muestra. Las muestras probabilísticas y las muestras no probabilísticas.

- Las muestras no probabilísticas, son aquellas en las cuales todos los sujetos de una población no poseen la misma probabilidad de ser elegidos, debido a que en algunos casos su selección se hace de una forma informal. En la muestra llamada también de "expertos" se seleccionan los sujetos bajo el criterio de que posean un conocimiento específico, con el cual puedan aportar a la investigación en proceso y en algunas ocasiones hacer una inferencia estadística. Un ejemplo de esto sería una investigación en la cual se busque hacer encuestas sobre la seguridad de un barrio a las personas que circulen por una calle del mismo. En este caso no todas las personas tendrían la misma probabilidad de ser elegidas para la encuesta debido a que no todas transitan por esa calle o bien no lo hacen en ciertos días u horarios.
- Las muestras probabilísticas son muestras con un criterio de selección en el cual, el sujeto es escogido dentro de una población con la misma probabilidad que los demás sujetos y se busca que la muestra sea representativa con

respecto a la población y así poder realizar una inferencia estadística. En esta muestra no es de mayor importancia los conocimientos o experticia que posean los sujetos seleccionados. Para este caso se supone una investigación en la cual el investigador busca conocer el salario promedio de las madres solteras que viven en el centro de la ciudad. El investigador realiza un trabajo de campo en el cual obtiene los datos de todas las madres solteras que viven en el centro de la ciudad y por medio de la ecuación (9) encuentra el número de la muestra y de manera aleatoria contacta a las mujeres para encontrar el valor promedio del salario de la muestra para posteriormente hacer la inferencia estadística de la población.

Según Walpole<sup>34</sup>, para las muestras probabilísticas se tiene una ecuación (8) que permite el cálculo del tamaño adecuado de la muestra que permita tener un error estándar mínimo.

$$n' = \frac{s^2}{v^2} \quad (8)$$

Lo cual se ajusta con el tamaño de la población N.

$$n = \frac{n'}{1 - \frac{n'}{N}} \quad (9)$$

#### **2.1.6.10 Pruebas de hipótesis**

Las pruebas de hipótesis son importantes dentro de los procesos estadísticos debido a que le permiten conocer al investigador si se ha llegado a la conclusión correcta.

Al momento de tomar decisiones respecto a un problema, se deben plantear dos hipótesis:

Según Walpole<sup>34</sup>, la hipótesis nula, la cual es la conclusión a la que se llega cuando el proceso funciona bien.

La hipótesis alternativa, contraria a la nula es aquella que se acepta si se encuentran pruebas de culpabilidad.

Un ejemplo de estas hipótesis se puede observar en una investigación en la cual el investigador siembra un tipo de semilla de una planta en dos recipientes. El primero posee un fertilizante y el segundo no. El objetivo de la investigación es el de observar si el fertilizante que se está probando tiene un efecto sobre el crecimiento de la semilla sembrada. Se plantean las dos hipótesis según las cuales:

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: El fertilizante bajo prueba no tiene un efecto sobre el crecimiento de la semilla sembrada.

Hipótesis alternativa H<sub>1</sub>: El fertilizante bajo prueba sí tiene un efecto sobre el crecimiento de la semilla sembrada.

Una prueba estadística mide el valor de acercamiento de la muestra a la hipótesis nula. La prueba estadística tiene una distribución de probabilidad, la cual posee dos regiones: una región de aceptación y una de rechazo. Estas regiones se dividen por medio de un valor crítico. Este valor depende del tamaño de la región de rechazo y en caso de que la prueba caiga en esta región se debe rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. Según Walpole<sup>34</sup>, "la decisión con respecto al tamaño de la región de rechazo, acarrea los riesgos de tomar diferentes tipos de decisiones incorrectas".

#### **2.1.6.11 Nivel de significancia ( $\alpha$ )**

Cuando un investigador realiza un experimento debe conocer cuál es la probabilidad de que la media muestral se encuentre cerca a la muestra de la distribución muestral. Si ésta es grande es posible hacer generalizaciones hacia la población y si no se debe dudar de hacer esto. La probabilidad de que un evento ocurra se encuentra entre 0 y 1 donde cero la mínima o nula y 1 es la máxima probabilidad. Si se toma el total del área de distribución como 1, cualquier punto que se encuentre entre éstos es la probabilidad de distribución. Es allí en donde entra a funcionar en la toma de decisiones el nivel de significancia (nivel  $\alpha$ ), éste según Hernández<sup>9</sup> es un nivel de probabilidad de equivocarse y se fija antes de probar hipótesis inferenciales. Por ejemplo, si se quiere apostar para una carrera de caballos y se le dice a un sujeto que la probabilidad de que gane es de un 95% seguramente apostaría, debido a que se tiene un valor alto de confianza para evitar que la evidencia conlleve a un error en la muestra seleccionada. Los porcentajes que generalmente se establecen son del 95% de seguridad con una probabilidad de error del 5% o 99% con 1% de probabilidad de error. Es un valor fijado que indica que se tiene un 5% de probabilidad de que se rechace una hipótesis nula cuando ésta es verdadera.

#### **2.1.6.12 Valores p**

El p-value sirve en las pruebas de hipótesis para conocer el valor de significación de las variables. Si este p-value es pequeño, entonces se puede rechazar la hipótesis asumida. Se puede deducir entonces tres conclusiones:

Fernández<sup>6</sup>, expresa que si el p-value es pequeño, entonces un efecto ha sido probado, si es grande el efecto es mínimo como para ser detectado por la prueba realizada y si se encuentra entre éstos dos límites, se debe rediseñar el experimento y así encontrar una forma de decidir cuál es el efecto causado.

Continuando con el ejemplo de las semillas y el fertilizante se busca conocer si el fertilizante tiene o no un efecto sobre el crecimiento de la planta sembrada. Si el valor p encontrado para el recipiente con el fertilizante es inferior al nivel  $\alpha$  establecido entonces se ha encontrado un efecto de dicho fertilizante en el crecimiento de la planta sembrada.

### 2.1.6.13 Error Estándar

El error estándar es la desviación estándar de la distribución de medias. Entre menor sea este valor, más cercano se encontrara de acercarse al valor de la muestra poblacional y es más confiable la estadística. Por el contrario, entre más disperso se encuentre este valor de la media, mayor será el valor del error estándar y menor certeza habrá de la similitud entre la media poblacional y la muestral.

### 2.1.6.14 Grados de libertad del error

Considerando un set de errores. Según Joshi<sup>13</sup> "Los grados de libertad de éste set son los grados de libertad pertenecientes al error o los grados de libertad del error, denotados por  $ne$ ".  $ne=n-r$ , donde  $r$  es el rango de la matriz de observaciones de los efectos fijos. Los grados de libertad son de naturaleza estructural ya que hablan sobre el número de mediciones y no los datos recolectados en sí mismos y sirve para estimar el error.

### 2.1.6.15 Least Square Means

El LS Mean es como su nombre lo indica una media calculada por medio de mínimos cuadrados. Según Walker<sup>33</sup>, es utilizado en casos en los que aplica un modelo "saturado", el cual describe como aquel modelo en el que se incluye los efectos principales y las interacciones entre estos. Es utilizado para estimar los efectos de tratamientos. Las pruebas post hoc se solicitan con LSMeans. Estas se utilizan para comparar las medias de cada grupo de cada variable independiente a la vez. Estas pruebas descomponen el efecto principal de una variable y se puede interpretar como si un ANOVA de una vía se llevara a cabo en cada combinación tratándolo como un grupo separado haciendo comparaciones.

A continuación se muestra un ejemplo en el que se considera la diferencia entre la media y la media de mínimos cuadrados.

Los datos en la Tabla 3 ofrecen un factor A con 3 niveles y 3 repeticiones.

Tabla 3. Tabla de valores de ejemplo de LSMean

Rep/Nivel	1	2	3
1	4	7	4
2	6	3	2
3	2	5	3
Medias por nivel	4	5	3
Media de niveles	4		
Media global	4		

La media global fue hallada como un promedio de los datos realizando la suma de los mismos y dividiéndola entre el número de valores, es decir 9.

La media de niveles fue hallada como un promedio entre los promedios de los datos de cada uno de los niveles, de manera independiente. En este ejemplo se puede notar que no existe diferencia entre las medias halladas, por lo cual se eliminará uno de los datos y se observará el comportamiento de las medias en este caso.

Tabla 4. Tabla de ejemplo de LS Mean 2

Rep/Nivel	1	2	3
1	4		4
2	6	3	2
3	2	5	3
Medias por nivel	4	4	3
Media de niveles	3,66666667		
Media global	3,625		

Cuando hace falta uno de los datos la media global ya no es igual al promedio de los promedios de los niveles. En este caso es preferible utilizar LS Means debido a que impone la estructura del tratamiento del factor A en la media calculada.

#### 2.1.6.16 Modelo de ANOVA de un factor

El ANOVA de un factor tiene una sola variable independiente o factor, con dos o más niveles. Lomax18, dice que los niveles representan las diferentes muestras o grupos o tratamientos de los cuales las medias serán comparadas. Hay dos formas de establecer conceptualmente la selección de los niveles. En el modelo de efectos fijos, todos los niveles en los que se interesa el investigador están incluidos en el diseño y análisis del estudio. Como resultado, generalizaciones solo pueden ser hechas de esos niveles particulares de la variable independiente que fueron seleccionados. En los modelos de efectos aleatorios, el investigador muestrea algunos niveles de la variable independiente de una población de niveles. Como resultado, generalizaciones pueden ser hechas de todos los niveles en la población, incluso aquellos que no fueron incluidos en la muestra.

#### 2.1.6.17 Modelo de ANOVA de dos factores

El ANOVA de medidas independientes de dos factores es donde los dos factores tienen medidas independientes. Aquí las condiciones "entre" de varianza tienen que estar separadas en el que surge del factor A, Factor B y la interacción entre éstos.

Para el análisis del LS Mean se utilizó el ANOVA de un factor o de una vía debido a que se aplicó de manera independiente para cada una de las variables independientes y esto permitió la observación y comparación de los niveles

internos de cada una de estas variables independientes con respecto a la variable dependiente.

#### **2.1.6.18 F Statistic**

Un ANOVA produce un estadístico F que es similar a los estadísticos t en que se compara la cantidad de varianza sistemática en los datos de la cantidad de varianza no sistemática. En otras palabras, F es la relación del modelo a su error. Es una medida del radio de variación explicado por el modelo y la variación por factores no sistemáticos. Es el radio de qué tan bueno es el modelo con respecto a qué tan malo es (cuánto error hay). Según Miles20, Puede ser calculado dividiendo la media cuadrática del modelo entre la media cuadrática residual. Debido a que es el radio de la varianza sistemática con la no sistemática, si su valor es inferior a 1 entonces por definición representa un efecto no significativo. Esto es debido a que si su valor es inferior a 1 quiere decir que la media cuadrática residual es mayor a la media cuadrática del modelo lo cual indica que hay mayor variación no sistemática que sistemática. Si su valor es mayor a 1 indica que la manipulación experimental tuvo un efecto mucho más allá del efecto de las diferencias individuales de la ejecución. Sin embargo esto no indica si el valor del f-statistic es lo suficientemente grande como para no ser un resultado casual. Para descubrir esto se puede comparar el valor obtenido de F contra el valor máximo que se esperaría obtener de forma casual si el grupo de medias fuese igual en una distribución F con los mismos grados de libertad. Si el valor obtenido excede este valor crítico se puede estar seguro que esto refleja un efecto de la variable independiente.

#### **2.1.6.19 T-test**

Un t-test consiste en realizar una comparación de dos medias para verificar si son significativamente diferentes entre sí.

Según Miles21, existen tres tipos de t-test:

- T-test para una sola muestra: Cuando una sola variable de media está siendo puesta a prueba. Se utiliza cuando se tiene una hipótesis nula que asume que la población tiene una media específica.
- T-test para muestras dependientes: Este se utiliza para un diseño de antes y después. La hipótesis nula es que no existe diferencia entre una media y otra, es decir que es cero.
- T-test para muestras independientes: Las muestras se comparan entre dos grupos. La hipótesis nula es que no hay diferencia entre las medias de estos dos grupos de la población.

Un ejemplo de esto se puede observar en un tipo de investigación donde se tienen dos grupos: uno al que se le suministra una medicina para el colesterol y otro al que se le suministra un placebo. El objetivo de la investigación es conocer si la

medicina para el colesterol tiene un efecto en los niveles de colesterol del grupo al que se le suministra. Para esto se busca comparar las medias de los niveles de colesterol entre los dos grupos y encontrar si existe una diferencia significativa que indique que la medicina surge un efecto en la disminución de dichos niveles.

#### 2.1.6.20 Parámetros de covarianza

Según West36, "La estimación REML se ha demostrado para reducir el sesgo inherente en estimaciones ML de parámetros de covarianza, especialmente en muestras de tamaño pequeño". La distribución nula del test estadístico depende de si los valores de la hipótesis nula para los parámetros de covarianza se encuentran en el límite del parámetro de espacio para los parámetros de covarianza o no.

Caso 1: Los parámetros de covarianza satisfaciendo la hipótesis nula no se encuentran en el límite del parámetro de espacio.

Caso 2: Los parámetros de covarianza satisfaciendo la hipótesis nula se encuentran en el límite del parámetro de espacio.

En el caso en que se tengan dos efectos aleatorios en un modelo y se desea probar si uno de ellos puede ser omitido, se necesita probar si la varianza para el efecto aleatorio dado que se desea probar y la covarianza asociada de los dos efectos aleatorios son iguales a cero.

#### 2.1.6.21 Errores tipo I y tipo II

Cuando se busca hacer inferencias estadísticas de una población por medio de una muestras, se puede llegar a cometer errores. Respecto a esto Walpole34 describe los dos tipos de errores.

El error tipo I o error alfa, que es equivalente al nivel de significancia, se establece desde el principio del planteamiento de la investigación para conocer el tamaño de la región de rechazo y así no rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera.

El error II o error beta, que es la probabilidad de no rechazar la hipótesis nula cuando esta es falsa. Al contrario del error tipo I, no se establece ningún valor y al aumentar el error alfa, disminuye el error beta y viceversa.

#### 2.1.6.22 Modelos de efectos

Según Litell17, en experimentos diseñados la condición de tratamiento bajo estudio es el factor y los tratamientos específicos son los niveles. En los tres tipos de estudio cada nivel tiene un efecto, que es que aplicar un tratamiento diferente en un experimento diseñado genera un efecto en la respuesta de la media.

La media puede ser modelada de muchas formas. La primera aproximación nos lleva a un **modelo de efectos**. Se puede definir el efecto de la droga A como  $\alpha_A$  tal que,  $\mu_A = \mu + \alpha_A$  donde  $\mu$  está definido como la intersección. Esto lleva al análisis de varianza (de una sola vía) ANOVA modelado  $Y_A = \mu + \alpha_A + e$ , la forma más simple de un modelo de efectos.

### 2.1.6.23 Efectos fijos

Solo se han considerado modelos de la media que involucran solo una distribución asumida de la variable de respuesta y una función de la media, involucrando solo efectos de factores que son tratados como constantes conocidas. A esto se le conocen como efectos fijos. Según Litell17, un efecto es llamado fijo "si los niveles en el estudio representan todos los posibles niveles del factor, o al menos todos los niveles sobre los cuales se realizará la inferencia". Esto incluye los modelos de regresión en los que los valores observados de la variable explicativa cubren toda la región de estudio.

### 2.1.6.24 Efectos aleatorios

Efectos de un factor son llamados aleatorios si son usados en un estudio solo para representar una muestra (idealmente, una muestra aleatoria) de un largo set de potenciales niveles. Según Litell17, "los efectos de factores correspondientes al set más grande de niveles, constituyen una población con una distribución de probabilidad. Cuando un efecto es aleatorio se asume que la distribución de efectos aleatorios tiene media cero y varianza  $\sigma^2_a$ , donde el subíndice a se refiere a la varianza de los efectos del tratamiento. El modelo estadístico lineal se puede escribir como

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (10)$$

Donde  $\mu$  representa la media de toda la población de tratamientos, no solo de esos que se encuentran bajo estudio.

### 2.1.6.25 Modelos de efectos mixtos

Muchos modelos estadísticos comunes pueden ser expresados como modelos lineales. Un modelo lineal de efectos mixtos es aquel que incorpora tanto efectos fijos, que son parámetros asociados con una población total o con ciertos niveles repetitivos de factores experimentales, como efectos aleatorios, que están asociados con unidades individuales experimentales seleccionadas de manera aleatoria de una población.

El modelo es según Litell17

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + b_j + \varepsilon_{ij} \quad (11)$$

Donde  $\mu$  y  $\alpha_A, \dots, \alpha_E$ , representan parámetros fijos desconocidos – intersección y el  $b_j$  y  $\varepsilon_{ij}$  son variables aleatorias que representan bloques y el error, respectivamente. Asumamos que las variables aleatorias  $b_j$  y  $\varepsilon_{ij}$  tienen media cero y varianzas  $\sigma^2_b$  y  $\sigma^2$ , respectivamente..

El modelo lineal de efectos mixtos fue seleccionado de entre los modelos estadísticos, debido a que permite modelar de forma completa los dos tipos de

efectos existentes: los fijos y los aleatorios. Por otro lado, este modelo brinda los resultados de p-value para cada uno de los niveles y de las variables independientes, los cuales son necesarios para poder probar la hipótesis de investigación.

### 2.1.6.26 Tipos de análisis de Modelos Lineales de Efectos Mixtos

Los modelos mixtos tienen entre sus objetivos hallar los componentes de varianza y covarianza. Según Caballero<sup>3</sup>, "esto se hace generalmente, por medio de métodos llamados métodos de momentos que son: (ANOVA), estimación cuadrática insesgada de mínima varianza (MIVQUE), máxima verosimilitud (ML) y máxima verosimilitud restringida (REML)".

### 2.1.6.27 Maximun likelihood

Según Swallow<sup>30</sup>, las estimaciones ML pueden ser obtenidas con soluciones iterativas en las dos ecuaciones en  $\sigma_a^2$  y  $\sigma_e^2$  dadas por:

$$\begin{bmatrix} tr(V^{-1}Z_1'Z_1V^{-1}Z_1Z_1') & tr(V^{-1}Z_1'Z_1V^{-1}Z_2Z_2') \\ tr(V^{-1}Z_1'Z_1V^{-1}Z_2Z_2') & tr(V^{-1}Z_2'Z_2V^{-1}Z_2Z_2') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_a^2 \\ \sigma_e^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y'Z_1Z_1'Py \\ y'Z_2Z_2'Py \end{bmatrix}$$

### 2.1.6.29 REML (Restricted Maximun Likelihood)

Las dos ecuaciones en  $\sigma_a^2$  y  $\sigma_e^2$  resueltas de manera iterativa para las estimaciones de REML están dadas por:

$$\begin{bmatrix} tr(PZ_1Z_1'V^{-1}PZ_1Z_1') & tr(PZ_1Z_1'V^{-1}PZ_2Z_2') \\ tr(PZ_1Z_1'V^{-1}PZ_2Z_2') & tr(PZ_2Z_2'V^{-1}PZ_2Z_2') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_a^2 \\ \sigma_e^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y'Z_1Z_1'Py \\ y'Z_2Z_2'Py \end{bmatrix}$$

Para tamaños de muestra pequeños el método ML no tiene en cuenta la pérdida en grados de libertad que se tiene por parte de los efectos fijos.

Es por esto que el método REML es preferido, ya que utiliza combinaciones lineales de elementos del vector de datos (el cual posee toda la información de efectos fijos y aleatorios) y no toma en cuenta los efectos fijos, evitando la pérdida en grados de libertad que genera que la función de verosimilitud se maximice en cuanto a los parámetros de varianza y covarianza de los efectos aleatorios.

### 2.1.6.29 MIVQUE Con estimaciones ANOVA como valores a priori (MIVQUE (A))

Las estimaciones MIVQUE(A) usan la ecuación anterior sin iteración, insertando los estimadores de ANOVA para  $\sigma_a^2$  y  $\sigma_e^2$  en P de la ecuación. Aunque la teoría MIVQUE especifica que los valores a priori a ser independiente de los datos, los usuarios que no tienen a priori un valor en la mente a menudo han sugerido el uso

de algunos cálculos fáciles de obtener, como las estimaciones ANOVA, como valores a priori. El MIVQUE son las primeras iteraciones de los estimadores REML.

#### **2.1.6.30 MIVQUE con valores a priori $\sigma_a^2 = 0$ , $\sigma_e^2 = 1$ (MIVQUE(0))**

Las estimaciones MIVQUE están definidas obtenidas de la ecuación de REML sin iteración utilizando  $\sigma_a^2 = 0$  ,  $\sigma_e^2 = 1$ . Estas estimaciones son importantes debido a su inclusión como los estimadores por defecto en SAS PROCEDURE VAMCOMP. En general, MIVQUE(0) establece  $\sigma_a^2$  y todos los demás valores a priori a cero, lo que simplifica las expresiones MIVQUE y por lo tanto el cálculo necesario. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, valores a priori se especifican de forma pasiva, pero con la misma seguridad que con cualquier otra especificación.

#### **2.1.6.31 Intercepto**

Es el valor de la media esperado para Y cuando todos los X=0. Si X nunca es igual a cero entonces el intercepto no tiene ningún valor intrínseco. En investigación científica el propósito del modelo de regresión es entender la relación entre las variables predictivas y la de respuesta. Si es así y X nunca es igual a cero, entonces no existe interés en el intercepto. No dice nada sobre la relación entre X y Y. Si se tienen variables categóricas en el modelo, el intercepto tiene mayor significado. Estas variables tienen valor 0 en el grupo de referencia y 1 en el grupo de comparación. Es el valor de la media para el valor de referencia (cuando las otras X=0).

## **2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO**

La prueba por medio de la cual se obtendrán los resultados será aplicada a participantes que deberán proporcionar la percepción obtenida a lo largo de la realización de esta. Es por esto que se hace necesario que dichos sujetos comprendan la utilidad de la prueba y den su aprobación para la publicación de los resultados y de las respuestas que éstos darán a los interrogantes. Para este propósito se tiene un consentimiento informado el cual deberá ser leído y firmado para poder proceder posteriormente a realizar la prueba.

Para la medición de la respuesta impulsiva de la sala se hace uso de la normativa de medición ISO 3382.

### **2.2.1 Consentimiento informado**

Según Williams<sup>30</sup>, el consentimiento informado es uno de los conceptos centrales de la ética médica actual. El consentimiento voluntario del ser humano es absolutamente esencial. El participante deberá tener información y conocimiento

de suficientes elementos del correspondiente experimento, de modo que pueda entender lo que decide. Muchos comités de revisión ética piden al investigador que les proporcione el formulario de consentimiento que utilizará para su proyecto. El procedimiento de obtener el consentimiento informado no comienza y termina con la firma del formulario, sino que debe incluir una cuidadosa explicación oral del proyecto y todo lo que significará para el participante. Además se debe informar a los participantes que están en libertad de retirar su consentimiento para participar en todo momento, incluso después de que el proyecto haya comenzado, sin ninguna represalia por parte de los investigadores.

### **2.2.2 Norma ISO 3382-1: Acústica - Medición del tiempo de reverberación de salas con referencia a otros parámetros acústicos.**

Es una norma internacional que describe los métodos de medición y obtención del tiempo de reverberación y otros parámetros a partir de respuestas impulsivas y del ruido interrumpido. Considera la instrumentación, posiciones, procedimientos de medición, evaluación de datos y entrega de informe final. Esta norma se aplica específicamente para salas de espectáculo.

La norma pide hacer una descripción precisa del estado de ocupación. Se debe hacer detallado el informe en cuanto a descripción del lugar (telón levantado o bajado, foso de orquesta, ubicación, etc).

La Fuente debe ser impulsiva omnidireccional (lo más posible) con un nivel de 45 dB por encima del ruido de fondo. Para el tipo de fuente, se puede recurrir al método de ruido interrumpido o al método de la respuesta impulsiva integrada.

En el método del ruido interrumpido, se debe utilizar un altavoz con una señal de ruido eléctrico de banda ancha aleatorio o pseudoaleatorio. La fuente debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica suficiente para que al medir el T30 se tenga un nivel de al menos 45dB por encima del ruido de fondo en cada banda de frecuencia. La duración de la excitación del recinto debe ser suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario antes de apagar la fuente. Por lo tanto es esencial emitir el ruido durante al menos unos segundos y no inferior a la mitad del tiempo de reverberación.

En el método de respuesta impulsiva integrada no se pretende excluir ningún método que pueda generar una respuesta impulsiva correcta (disparos de pistola, impulsos generados por chispazos, salvas de ruido o secuencias de longitud máxima (MLS)). Estas pueden utilizarse siempre y cuando se respete el ancho de banda necesario. Al igual que con el método anterior es necesario una curva de decrecimiento que empiece en 45dB por encima del ruido de fondo cuando se mide T30. Los barridos sinusoidales o señales pseudoaleatorias como el MLS se pueden utilizar mientras respeten los requisitos de ancho de banda y características direccionales de la fuente. Gracias a estos métodos el filtrado en frecuencia es a menudo inherente al análisis de la señal y basta con que la señal de excitación cumpla con las bandas de frecuencia a medir.

El uso de un altavoz para emitir diversas señales impulsivas es generalmente poco ventajoso porque el rango dinámico de las respuestas impulsivas resultantes está limitado. El uso de la transformada rápida de Hadamard y de las secuencias de longitud máxima (MLS) constituye un método de tipo correlación ventajoso. Otras señales con un amplio espectro liso, tales como las señales moduladas linealmente en frecuencia, también se pueden utilizar con éxito.

Se deben tener al menos dos posiciones de fuente (en lugares donde naturalmente se encontrarían las fuentes) a una altura de 1.5m sobre el suelo. Se recomiendan 3 posiciones de fuente para teatros de gran tamaño. Si el escenario es simétrico se recomienda colocar una posición al centro y las otras dos a cada lado a la misma distancia de la central.

Para medir respuesta al impulso se utilizará una cabeza binaural. Se debe escoger una cabeza artificial con pabellones y canales auditivos y utilizarla para un determinado conjunto de mediciones. Las posiciones de receptor se deberían repartir de manera uniforme sobre toda la zona de asientos del público. Las posiciones de micrófono deben estar alejadas entre ellas al menos 2m, de la superficie reflejante más cercana más de 1m y cuando se utilice cabeza artificial, la altura de los canales auditivos por encima del suelo debe ser de 1.2m. Se debe evitar posiciones de micrófono muy cercanas a la fuente por la influencia fuerte del sonido directo. Para parámetros como los niveles relativos de presión acústica, los coeficientes energéticos previos/tardíos, las fracciones de energía lateral, los niveles de ruido de fondo y las funciones de intercorrelaciones binaurales se escogen posiciones que ayuden a aportar información sobre las variaciones sistemáticas posibles en función de la posición en el recinto. Mínimo de 6 a 10 posiciones de receptor dependiendo del tamaño de la sala.

Los resultados de la medición de las magnitudes como coeficientes energéticos previos/tardíos, las fracciones de energía lateral, los niveles de ruido de fondo y las funciones de intercorrelaciones binaurales no se deberían promediar sobre la totalidad de las posiciones de micrófono en una sala, porque las magnitudes describen las condiciones acústicas locales.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque e interés de esta investigación es empírico-analítico debido a que se hace un análisis de parámetros por medio de una prueba realizada de manera subjetiva a una muestra de sujetos. Esta información obtenida tiene fines académicos y uso técnico desde el punto de vista de la acústica y la psicoacústica.

#### 3.2 LINEA DE INVESTIGACIÓN

Debido al procesamiento de los estímulos auditivos y visuales este proyecto tiene contenido de la sublínea de facultad de procesamiento digital de señales; por su análisis de parámetros acústicos de una sala y el análisis subjetivo y psicoacústico de la percepción de sujetos la línea de investigación es la acústica y la línea institucional es la de tecnologías actuales y sociedad.

#### 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

##### TÉCNICA

Levantamiento arquitectónico del recinto de estudio

##### DESCRIPCIÓN

Se obtendrán datos de las dimensiones del recinto para poder realizar el plano de éste y hacer ubicación de puntos de medición.

Mediciones Acústicas

Se realizarán mediciones con el fin de obtener datos como ruido de fondo, campo sonoro y respuesta al impulso de la sala.

Prueba subjetiva

Se realizará una prueba subjetiva con el fin de obtener datos de percepción de la espacialidad de una fuente sonora dentro de un recinto con respecto a variación de estímulos visuales-auditivos

Procesamiento y análisis de datos

Por medio de un método estadístico se obtendrán los resultados de la prueba aplicada y se hará un análisis para llegar a conclusiones con respecto al experimento realizado.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población consiste en todos los estudiantes que cursen más de 6° semestre y profesores del programa de Ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá. Se tuvieron dos muestras debido a la realización de dos pruebas subjetivas descritas a continuación:

- Muestra 1: 24 sujetos entre profesores y estudiantes que cursen más de 6° semestre del programa de Ingeniería de sonido en la Universidad de San Buenaventura Bogotá, con 3 repeticiones de prueba para cada uno.
- Muestra 2: 13 sujetos entre profesores y estudiantes que cursen más de 8° semestre del programa de Ingeniería de sonido en la Universidad de San Buenaventura Bogotá, con 3 repeticiones de prueba cada uno.

### **3.5 HIPÓTESIS**

Es posible encontrar que dentro de la percepción espacial de una fuente sonora no sólo influyen estímulos auditivos y el comportamiento de la sala donde se reproduce dicha fuente sonora, sino que también influyen estímulos visuales que acompañan a los estímulos auditivos.

### **3.6 VARIABLES**

#### **3.6.1 Variables independientes**

- Estímulos sonoros (A)
- Estímulos visuales (V)
- Posición del escucha (R)

#### **3.6.2 Variables dependientes**

- Ancho aparente de la fuente (ASW)
- Nivel de Envolvimiento (LEV)

### 3.7 Diagrama de flujo de trabajo realizado en el desarrollo del proyecto

A continuación se observan en las Figuras 3 y 4 los diagramas de flujo de la realización del proyecto y del diseño de la prueba subjetiva que se aplicó.

Figura 3. Diagrama de flujo del trabajo realizado durante todo el proyecto

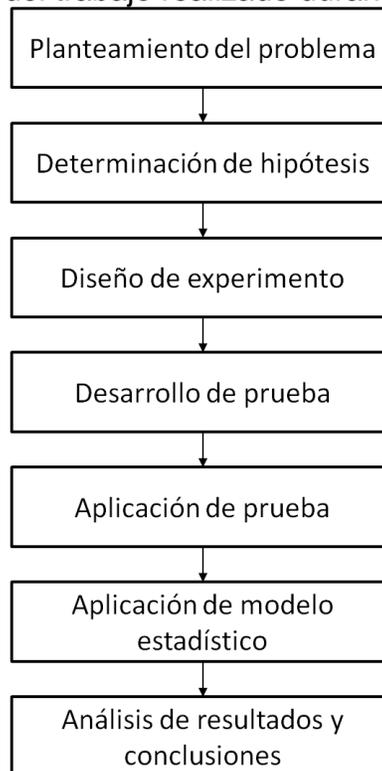
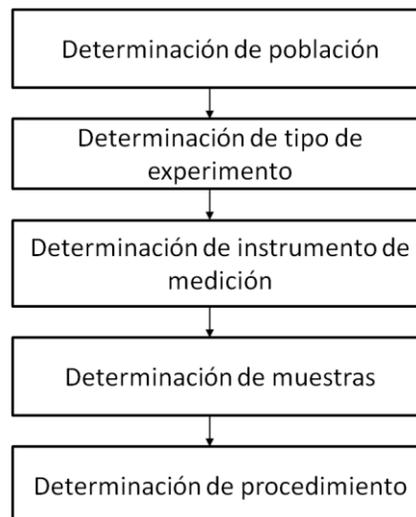


Figura 4. Diagrama de flujo del trabajo realizado durante todo el diseño del experimento.



### 3.8 DISEÑO DE PRUEBA DE PERCEPCIÓN ESPACIAL

La prueba que se realizó tiene como fin evaluar cómo se relaciona la percepción espacial de un sujeto de una fuente sonora que se encuentra en un recinto acústico con respecto a estímulos visuales y auditivos que se le presenten a dicho sujeto.

#### 3.8.1 Determinación de hipótesis de estudio

Dentro del concepto de las pruebas de hipótesis se desarrollan las siguientes hipótesis nula y alternativa, respectivamente.

$H_0$ = Los estímulos visuales, auditivos y puntos de receptor dentro de un recinto no influyen en la percepción espacial (ASW y LEV) de una fuente sonora.

$H_1$ = Los estímulos visuales, auditivos y puntos de receptor dentro de un recinto, influyen en la percepción espacial (ASW y LEV) de una fuente sonora.

#### 3.8.2 Grados de manipulación de las variables independientes

Las variables independientes fueron manipuladas en modalidades por grados lo cual implica diferentes modalidades en las que se varían los grados de presencia-ausencia de estas, según Hernández<sup>8</sup>. En la Tabla 5 se puede observar las distintas modalidades de cada una de las tres variables independientes.

Tabla 5. Tabla de la manipulación de modalidades en grados de variables independientes

Estimulo	Notación
Voz	A1
Guitarra	A2
Batería	A3
Ausencia de estímulo	V1
Estímulo intérprete	V2
Intérprete y parlantes	V3
Punto1	R1
Punto2	R2
Punto3	R3
Punto4	R4

### 3.8.3 Tipo de experimento

El tipo de prueba que se llevó a cabo es un diseño factorial. Éstos manipulan dos o más variables independientes e incluyen dos o más niveles de presencia de cada una de las variables independientes, según lo mencionado por Hernández9. Para éste caso el diseño factorial es un diseño de 3x3x4 lo cual indica, como se observó en la tabla 3, que se tienen tres variables independientes; la primera variable independiente tiene tres niveles, la segunda tiene tres y la tercera cuatro niveles. Se deben cubrir todas las posibles combinaciones de las tres variables y sus respectivos niveles que para este caso son 36. En la Tabla 6 se puede observar el total de las combinaciones.

Cada combinación representa una celda o grupo, si las tres variables habrán de ser manipuladas deliberadamente, los sujetos deben ser asignados al azar a todas las celdas o grupos.

Tabla 6. Tabla de las combinaciones que se utilizaran para la prueba

Núm. Combinación	Estimulo Auditivo	Estimulo Visual	Posición Receptor
1	A1	V1	R1
2	A1	V1	R2
3	A1	V1	R3
4	A1	V1	R4
5	A1	V2	R1
6	A1	V2	R2
7	A1	V2	R3
8	A1	V2	R4
9	A1	V3	R1
10	A1	V3	R2
11	A1	V3	R3
12	A1	V3	R4
13	A2	V1	R1
14	A2	V1	R2
15	A2	V1	R3
16	A2	V1	R4
17	A2	V2	R1
18	A2	V2	R2
19	A2	V2	R3
20	A2	V2	R4
21	A2	V3	R1
22	A2	V3	R2
23	A2	V3	R3
24	A2	V3	R4

25	A3	V1	R1
26	A3	V1	R2
27	A3	V1	R3
28	A3	V1	R4
29	A3	V2	R1
30	A3	V2	R2
31	A3	V2	R3
32	A3	V2	R4
33	A3	V3	R1
34	A3	V3	R2
35	A3	V3	R3
36	A3	V3	R4

### 3.8.4 Instrumento de medición

El instrumento de medición seleccionado fue el diferencial semántico. Según Osgood<sup>25</sup>, este tipo de instrumento consiste en crear una escala entre conceptos opuestos. Para la realización de las dos pruebas subjetivas se utilizó este instrumento y se colocaron como conceptos opuestos el de "grande" como el mayor y "pequeña" como el menor, refiriéndose a la impresión del ancho aparente de la fuente y el nivel de involucramiento. Entre éstos se utilizó una escala de 7 valores en los cuales se coloca la impresión percibida por cada sujeto por cada repetición. En el anexo A se puede observar un ejemplo de aplicación de dicho instrumento y en el anexo B, el instrumento utilizado en ambas pruebas subjetivas.

### 3.8.5 Tamaño de la muestras

Para la primera prueba subjetiva se utilizó una muestra probabilística. Éstas se caracterizan en que la probabilidad de selección de un sujeto dentro de la población es igual para todos, es decir, es elegido de manera aleatoria.

El tamaño de ésta muestra se determinó utilizando la ecuación (9). Tomando un  $N=288$ ,  $Se=0.05$ ,  $p=60\%$ , el tamaño de la muestra resultó  $n=72$ . De acuerdo con esto se determinó que el número de sujetos sería de 24 con 3 repeticiones por prueba.

Para la segunda prueba subjetiva, se decidió utilizar una muestra no probabilística, éstas se caracterizan en que la probabilidad de selección de un sujeto dentro de la población no es la misma, según lo descrito por Walpole<sup>34</sup>. Esto significa que la selección de los sujetos no se centra en tener una cantidad representativa de la población, sino en una selección cuidadosa de sujetos que tengan un conocimiento sobre un tema específico. En este caso la muestra seleccionada fue de 13 sujetos con 3 repeticiones por prueba, los cuales contaban con mayor experticia en el tema de investigación y los conceptos a ser evaluados. La muestra

total de observaciones fue de 39. Utilizando de igual forma la ecuación (9) se encontró que con una población  $N=13$  profesores,  $Se = 0.05$ ,  $p = 60\%$  el tamaño de la muestra debía ser de  $n=12$ , con 4 sujetos con 3 repeticiones para que fuese significativo de la población de expertos seleccionada.

### **3.8.6 Diagrama y procedimiento del experimento realizado**

La primera prueba se realizó dentro del estudio Digital de los laboratorios de Ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

Para la realización de la prueba se siguieron los siguientes pasos:

1. Al sujeto se le entregó un formato en el que dieron datos tales como: nombre, edad, sexo, si es estudiante o docente y en caso de ser estudiante, el semestre que cursa, junto con un consentimiento informado (anexo B y anexo C, respectivamente), el cual debía ser firmado para posterior utilización de los datos entregados por el participante.

2. Se dieron instrucciones claras respecto a lo que se debía realizar y los conceptos a evaluar y una vez el sujeto manifestó estar preparado, se dio comienzo a la prueba.

Fue importante tener en cuenta que no se le debía revelar el objetivo de la investigación al sujeto, para evitar sesgos respecto a la hipótesis.

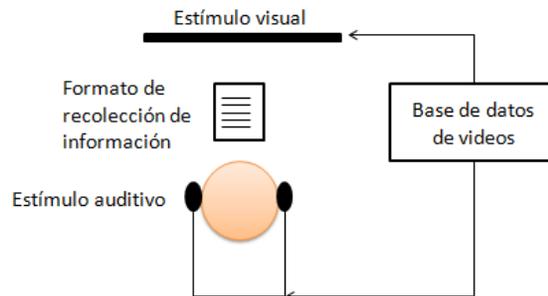
3. Con una función generada en Excel se determinaron de manera aleatoria, los videos que evaluaría cada sujeto. Éste se sentó frente a una pantalla donde se le presentó el estímulo visual. El estímulo auditivo fue reproducido por medio de audífonos.

4. De acuerdo con su percepción, el sujeto colocó una X en el valor de la escala de 1 a 7 del formato de recolección de información según lo percibido por video y para los dos parámetros a evaluar: el ancho aparente de la fuente (ASW) y el nivel de involucramiento (LEV). En la Figura 5 se observa un esquema de la realización de la prueba.

5. El tiempo de desarrollo de la prueba por sujeto fue de aproximadamente 20 minutos y se le permitió reproducir los videos las veces que fueran necesarias antes de dar su percepción final. Se dio un tiempo de 1 minuto entre repeticiones para evitar confundir al sujeto entre un estímulo y otro.

6. Por último se recogieron los formatos y se dio por finalizada la prueba.

Figura 5. Esquema a utilizar para realización de la prueba



### 3.9 SOFTWARE UTILIZADO PARA PROCESAMIENTO DE AUDIO Y VIDEO

#### 3.9.1 Easera

Easera es un sistema de evaluación y análisis de respuestas acústica y electrónica.

Consiste de cuatro partes: Generador de señal, mediciones, Analizador en tiempo real, post procesamiento.

Permite la realización de mediciones acústicas por medio de selección de entradas y salidas, generación de señales tales como ruido rosa, ruido blanco, sine sweep, entre otras; analizador en tiempo real en el cual se puede observar el espectro de la señal entrante, post procesamiento con distintos módulos que permiten calcular, graficar y observar en tablas datos tales como respuesta al impulso, ETC, C50, SNR, C80, EDT, Rt, IACC y LF, entre otras.

Este software permitió realizar la medición y posterior análisis de las respuestas al impulso que se tomaron en el Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo.

#### 3.9.2 Matlab 2012

Es un lenguaje de alto nivel y un ambiente de desarrollo interactivo para cálculo numérico, visualización y programación. Usando MATLAB se pueden analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos, aplicaciones e interfaces de usuario. MATLAB además ofrece múltiples formas de comunicación con diversos lenguajes de programación tales como C, C++ y Java.

Se puede utilizar para procesamiento de señales entre las que se encuentran audio y video. Por esto se utilizó este software para el procesamiento de audio con respecto a la convolución de los audios con las respuestas al impulso.

#### 3.9.3 Adobe After Effects CS5

Adobe After Effects CS5 es un software creativo de composición y animación usado por una variedad de artistas de gráficos animados y efectos visuales. Entre

sus herramientas de composición se encuentra el keyiing donde encontramos el keyligh 1.2, herramienta que permitió el procesamiento del chroma key de los videos captados con fondo verde.

### **3.9.4 Pro Tools 11**

Pro tools es una estación de trabajo de audio digital que permite la edición, mezcla y post producción de audio. También puede ser utilizado para edición de video. Es por esto que se utilizó para la sincronización de audio y video para la preparación de videos para la prueba subjetiva.

### **3.9.5 Matlab 2013**

Matlab 2013 al igual que todas sus versiones anteriores, es una herramienta de desarrollo interactivo y programación. Se hizo necesario utilizar esta versión debido a que dentro de sus paquetes matemáticos, incluye una función llamada **fitlme** la cual desarrolla y resuelve modelos lineales mixtos, los cuales son utilizados en éste proyecto de grado para resolver el modelo estadístico planteado.

## 4. DESARROLLO INGENIERIL

En esta sección del documento se describen todos los procedimientos que fueron desarrollados a lo largo de la realización del proyecto. Se inicia con la selección de las fuentes sonoras y visuales que conforman el conjunto de estímulos. Continuando, se describe el proceso de grabación de los estímulos visuales y auditivos incluyendo los equipos utilizados y el esquema de iluminación. Luego se da el reporte de la medición realizada dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo para hallar las respuestas al impulso dentro de 6 posiciones de receptor dentro del recinto. Se hizo el procesamiento de señales tanto de audio como video en los software de procesamiento y por último se aplicó la prueba subjetiva.

### 4.1 SELECCIÓN DE FUENTES SONORAS Y VISUALES

Para la selección de las fuentes que se utilizaron como estímulos auditivos se tomaron en cuenta factores como: presupuesto, espectro, amplitud, tamaño y facilidad de acceso. Teniendo en cuenta lo mencionado se buscó que cada una de estas fuentes se amoldara al menos a un tipo de fuente con un espectro y amplitud específico.

En la Tabla 7 se presenta los 3 instrumentos que cumplen con los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 7. Tabla de fuentes utilizadas como estímulo auditivo

Fuente escogida	Tipo de fuente	Espectro	Tamaño	ID de fuente
Guitarra acústica	Cuerdas	(80Hz-1kHz)	Medio	A1
Cantada Masculina	Voz	(200Hz-700Hz)	Medio	A2
Batería	Percusión	(60Hz-10kHz)	Grande	A3

En primer lugar se encuentra la guitarra acústica que fue escogido dentro del grupo de los instrumentos de cuerda, por su facilidad de acceso y su espectro de frecuencias medias. En segundo lugar se encuentra la voz masculina cantada, la cual posee un rango de frecuencias igualmente medias pero con un poco menos de cubrimiento en frecuencias más altas. Por último la batería fue seleccionada dentro de los instrumentos de percusión, ya que además de ser un instrumento de gran tamaño, posee un espectro amplio tanto en bajas frecuencias, debido a los tambores, como en altas debido a los platillos.

En cuanto a la parte visual se consideró la manipulación de los grados de las variables independientes. Se establecieron 3 niveles de dicha variable, en los cuales se tiene un nivel de ausencia total del estímulo, el siguiente con presencia del estímulo y por último una presencia en mayor grado. En la Tabla 8 se pueden observar los niveles seleccionados.

Tabla 8. Niveles de manipulación del estímulo visual.

Fuente escogida	Grados de manipulación	ID de fuente
Sin estímulo	Ausencia	V1
Intérprete	Presencia	V2
Intérprete con altavoces	Presencia en mayor grado	V3

## 4.2 GRABACIÓN DE AUDIO Y VIDEO PARA PROCESAMIENTO DE ESTÍMULOS VISUALES Y AUDITIVOS

La grabación de los estímulos visuales y auditivos se realizó en el estudio Híbrido (A) que hace parte de los laboratorios del Programa de Ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá.

### 4.2.1 Elementos utilizados para la grabación

Para la grabación de audio se utilizaron:

Micrófonos de diversas referencias acorde al instrumento que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Tabla de micrófonos usados por instrumento

ID de fuente	Fuente	Micrófonos utilizados
1	Guitarra acústica	2 Mics AT4030
2	Voz Masculina	1 Mic AT 4030
3	Batería	2 Overheads AKG451, 1 PZM Shure Beta 91a

- Consola Soundcraft Ghost
- Software Pro Tools LE
- Interfaz Digidesign Digi 002 rack
- Monitores Mackie hr824
- Computador Mac OS x Versión 10.5 fase 9I3Ia Numero de Serie: g8905ldrxyk procesador 2x2.8 GHz Quad Core Intel Xeon memoria 2GB 800 GHz ddr 2fb-Dimm Disco de Arranque Macintosh HD

Para la grabación de video se utilizaron:

- Cámara Sony
- Telón Chroma Key Verde 177
- 3 Luces Halux reflectores LED 9.9W

#### 4.2.2 Medición de campo sonoro en el suite de grabación del estudio híbrido

Se hizo necesario realizar una medición de campo sonoro dentro de la suite de grabación del estudio híbrido, para encontrar la posición de los micrófonos en la cual se ubicaran en campo directo y así evitar, en su mayoría las reflexiones presentadas por la sala. Los resultados de la medición se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Medición de campo sonoro dentro del estudio híbrido

MEDICIÓN CAMPO SONORO ESTUDIO HÍBRIDO			
Distancia(m)	SPL(dB)	S/N(dB)	
1	70	R. Fondo(dB)	35
2	65		
4	60		
5	59		

La medición se hizo con una fuente de ruido rosa para excitar el recinto colocada a 1,5m de altura y el sonómetro se colocó a una distancia de 1m, inicialmente. El sonómetro fue movido duplicando la distancia hasta encontrar la distancia crítica en los 4m de la fuente. Según la medición, el campo sonoro se tornó estable después de los 4 metros por lo que los micrófonos se ubicaron dentro de esta distancia hacia el intérprete.

Para la medición se utilizaron los siguientes elementos:

- Cabina JBL Eon 10-g2.
- Micrófono SVANTEK tipo 2.

#### 4.2.3 Grabación de audio y video de intérpretes

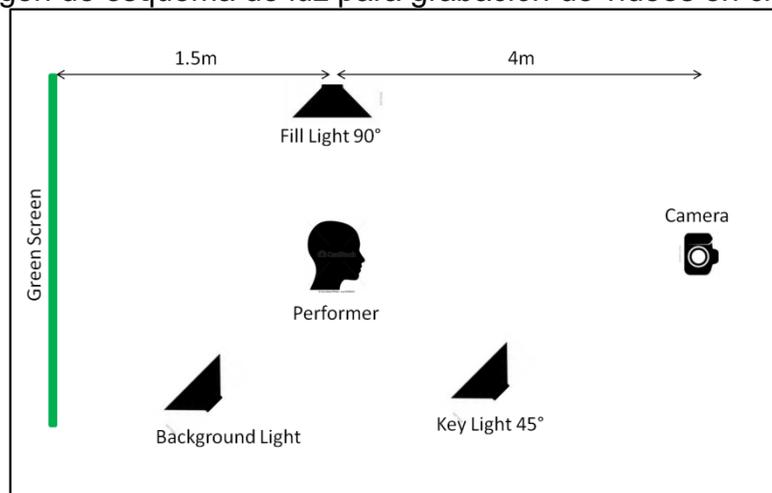
Para la grabación de video se utilizó una técnica de procesamiento llamada chroma key en la cual se utiliza un fondo de color verde o azul, que luego permita la remoción del fondo grabado y situar en su lugar cualquier imagen deseada.

El telón se ubicó detrás de los intérpretes de manera que cubriera la altura y pies de los intérpretes para poder lograr un efecto completo y real del chroma key. Los intérpretes se ubicaron a una distancia de alrededor de 1m a 1.5m para evitar la presencia de sombras en el telón verde y tener un efecto de iluminación uniforme.

Para la iluminación se utilizó un arreglo de 3 luces el cual se compone de dos luces hacia el sujeto, una ubicada con un ángulo de  $45^\circ$  con respecto a la cámara y la otra con un ángulo de  $90^\circ$  igualmente respecto a la cámara y la tercera luz ilumina el telón tratando de eliminar cualquier otra sombra que haga falta. La cámara se ubicó a 4m de donde se encontraba el telón buscando tener una visibilidad completa de la escena. Se hicieron pruebas de iluminación para verificar que no se presentaran sombras y que la luz era correcta para el músico y no tener inconvenientes posteriores en el procesamiento con el fondo verde.

A continuación en la Figura 6 se presenta el esquema de iluminación propuesto con 3 luces, las distancias y ubicaciones de cámara, intérprete, luces y telón dentro del estudio híbrido.

Figura 6. Imagen de esquema de luz para grabación de videos en chroma key



Se pidió a los músicos hacer una interpretación de una canción con la cual se encontraran familiarizados y que durara alrededor de 2 o 3 minutos tratando de explorar todas las frecuencias que podría emitir el instrumento. Se les permitió ensayar la canción las veces que fueran necesarias y se grabaron las tomas que el músico consideró. En la Figura 7 se observa el montaje del telón verde utilizado y la ubicación de los micrófonos para la grabación de la batería.

Figura 7. Montaje de luces y micrófonos para la batería



### **4.3 MEDICIÓN DE RESPUESTA AL IMPULSO BINAURAL EN TEATRO MAYOR JULIO MARIO SANTODOMINGO**

De la sala de estudio es necesario obtener la respuesta al impulso en distintos puntos para ser utilizada en la convolución con los audios tomados y hacer uso de esto en la posterior realización de la prueba. Esta medición se hizo por medio de la norma ISO 3382-1.

#### **4.3.1 Descripción de la sala de estudio: Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo**

El teatro mayor Julio Mario Santodomingo fue construido como una sala de espectáculos de todo tipo como: óperas, musicales, conciertos, ballet clásico, danza contemporánea y obras de teatro.

Cuenta con tres niveles: platea, primer y segundo balcón. Cuenta con 5 camerinos y vestuarios, así como con un salón especial, con el fin de que los artistas tengan un espacio apropiado para los calentamientos.

Cuenta con una fosa de orquesta de 7.7m x 20.4m con capacidad para 75 músicos y con dos plataformas móviles que permiten subir y bajar la orquesta. Su capacidad es de 1320 espectadores.

La medición se realizó con un estado de ocupación de estudio, con alrededor de 10 personas presentes. El telón de protección se encontraba levantado y el foso de orquesta cerrado. El mobiliario consta de alrededor de 535 sillas en la planta baja del teatro donde se realizó la medición.

Entre los materiales se observó que las sillas son de material poroso, el escenario de madera, se tienen 5 balcones de concreto, puertas de madera, telón pesado, el control room tiene un ventanal de vidrio que se ubica frente al escenario a 19,6m aproximadamente, el foso de orquesta es de piso de madera y se encuentra ubicado debajo del escenario y el techo posee difusores de madera en forma de nube. Por último se observó que como sistema de amplificación se tienen dos sistemas line array de 12 vías cada uno, 4 parlantes ubicados a lo largo del escenario dirigidos hacia el público y parlantes ubicados en el suelo debajo de las sillas. En la Figura 8 se puede observar una vista del teatro.

Figura 8. Vista superior del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo



### 4.3.2 Levantamiento arquitectónico

El levantamiento arquitectónico fue brindado por los ingenieros y arquitectos del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo (Figura 9 y Figura 10) y será utilizado para visualización de la distribución de puntos de fuente, receptor y puntos de medición de ruido de fondo y campo sonoro dentro de la sala.

Figura 9. Vista superior Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo

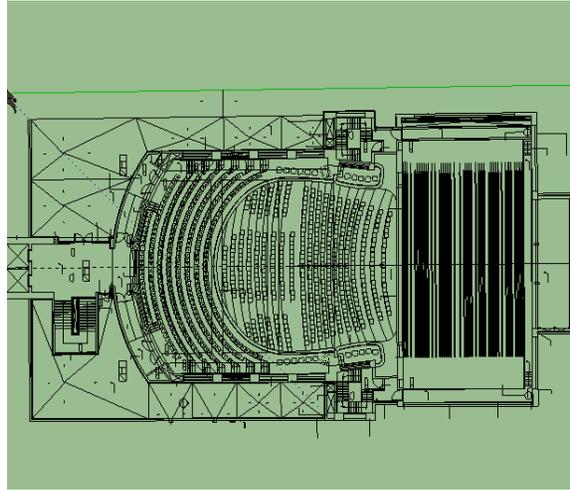
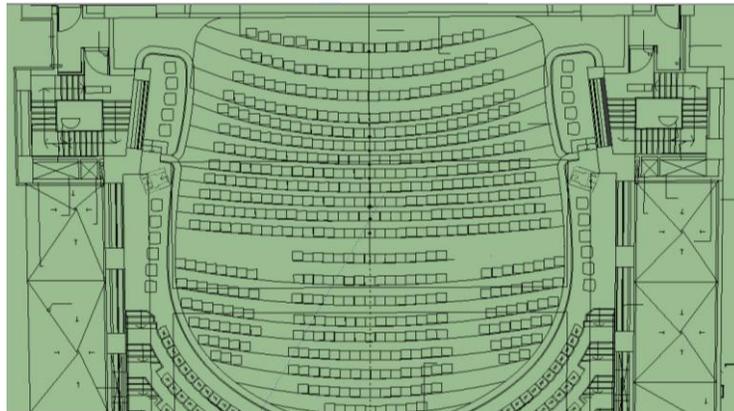


Figura 10. Vista superior planta inferior del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo



### 4.3.3 Procedimiento de medición

Como se mencionó anteriormente, la medición se realizó siguiendo la norma ISO 3382-1 y el método escogido para la realización de la medición fue el la respuesta impulsiva integrada.

- Se hizo la medición de ruido de fondo para garantizar que el nivel de presión sonora tuviera la relación señal/ruido adecuado que en la norma es de 35dB a 45dB.
- Según el tamaño y características del recinto se obtuvieron el número de puntos de medición y se determinó su ubicación dentro del recinto.
- Se calibró el sistema y el software de medición con los requerimientos necesarios para realizarla.
- Se ubicaron los dispositivos (fuentes, sonómetros, dummy head) para la realización de la medición.

#### 4.3.4 Equipos de medición

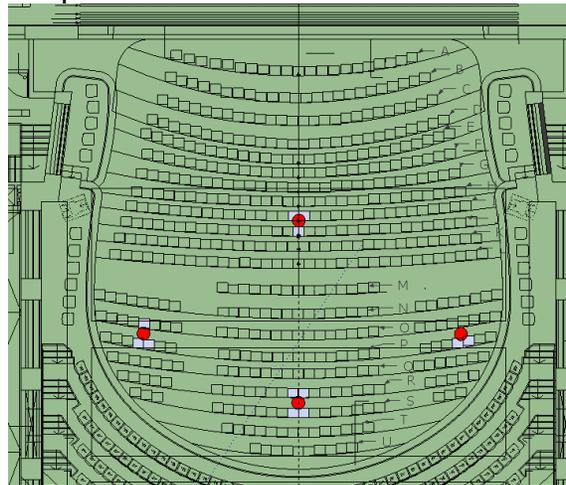
Para las medición se utilizaron los siguientes elementos:

- Sonómetro SVANTEK tipo 2
- Calibrador acústico SVANTEK ref sv30a
- Computador MacBook pro
- Interfaz PreSonus AudioBox
- Fuente omni12 01dB, dodecaedro
- Micrófono de medición Behringer EC 8000
- Cables de Línea, XLR Neutrik
- Cabeza Binaural 01dB Cortex01

#### 4.3.5 Medición de ruido de fondo y de campo sonoro

Se hizo la medición de ruido de fondo para establecer la relación señal-ruido que se debía tener al momento de realizar la medición de respuesta al impulso y calibrar la fuente respecto a esto. Se tomaron 4 puntos distribuidos alrededor de la sala para mayor homogeneidad en los resultados. En la Figura 11 se muestra la ubicación de los puntos de medición.

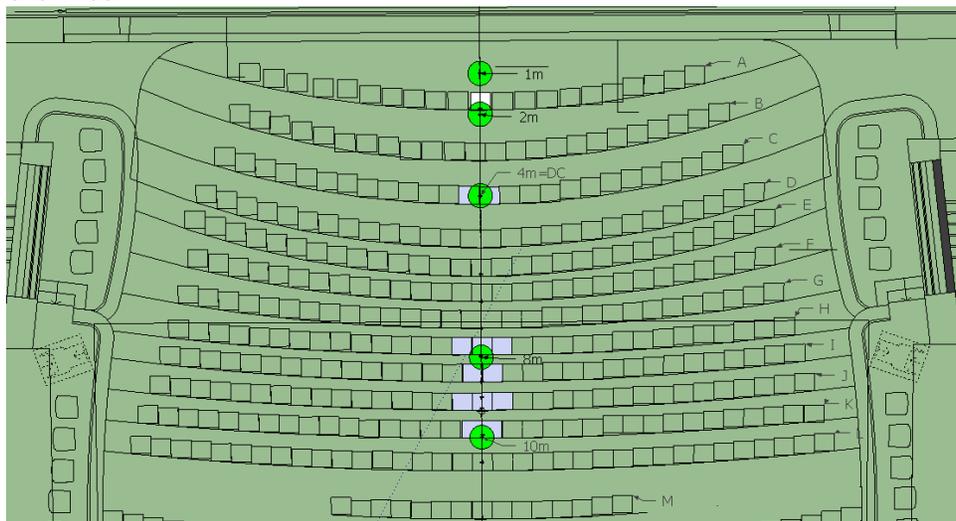
Figura 11. Gráfica de los puntos de medición de ruido de fondo



Siguiendo las indicaciones proporcionadas por la ISO 3382-1 se debía tener un relación S/N de 45dB, pero al ser una sala de gran tamaño no se pudo conseguir y dicha relación fue de aproximadamente 40dB.

Para la medición de campo sonoro se tuvo en cuenta emitir una fuente de ruido rosa y se hicieron mediciones con el sonómetro a 1m y luego se ubicaron los siguientes puntos duplicando la distancia hasta encontrar la distancia crítica. En la Figura 12 se puede observar la distribución de dichos puntos.

Figura 12. Imagen de los puntos de medición de campo sonoro y ubicación de la distancia crítica



En la Tabla 11 se observan los valores de la medición de ruido de fondo y de campo sonoro.

Tabla 11. Medición de campo sonoro y ruido de fondo dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo

Campo sonoro		Ruido de fondo	
Distancia(m)	SPL(dB)	Punto	SPL(dB)
1	103,6	1	64,43
2	98,6	2	65,38
4	93,8	3	65,6
8	90,5	4	64,87
10	89,5		

Acorde con la medición de campo sonoro, a partir de los 4m el campo se tornó estable.

### 4.3.6 Calibración del sistema y del software EASERA

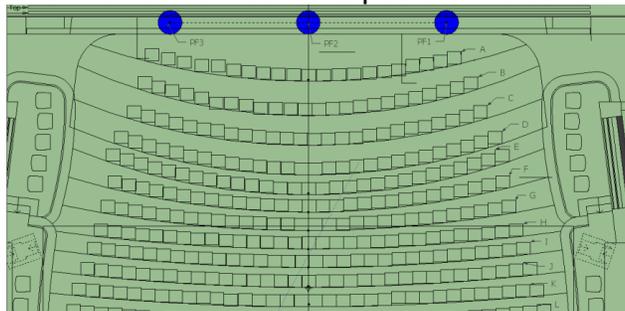
Dentro del software EASERA se definieron las entradas y las salidas del sistema: las entradas fueron los micrófonos que se encuentran colocados en cada oreja del dummy head y la salida, el dodecaedro. Para la calibración de los transductores del dummy head se utilizó la sensibilidad dada por las especificaciones técnicas del fabricante que se puede observar en el Anexo D.

La fuente que se utilizó fue un barrido de frecuencias (sine sweep) y se determinó un tiempo de medición o integración de 6s.

### 4.3.7 Selección y ubicación de puntos de fuente y receptor

La fuente se colocó en el escenario, lugar donde se encontrarían las fuentes sonoras naturales y por ser un lugar de gran tamaño se escogieron 3 posiciones de fuente ubicadas sobre la tarima a 5m entre ellas, a 1.5m de altura y se puede observar su distribución en la Figura 13.

Figura 13. Gráfica de la distribución de las 3 posiciones de fuente en el escenario.



Los puntos de receptor donde se ubicó la cabeza binaural fueron ubicados a 1.2m de altura. Los puntos ubicados cerca a superficies reflejantes fueron colocados a 2m de la superficie reflejante más cercana. En la Figura 14 se observa el punto número de medición número 2.

Figura 14. Imagen de ubicación de fuente y punto de receptor 2.



Siguiendo las consideraciones dadas por la ISO 3382-1 con respecto al número de puntos de receptor acorde con el tamaño de la sala dado en la Tabla 12, se tomaron 6 puntos de receptor.

Tabla 12. Número mínimo de posiciones del receptor en función del tamaño del auditorio según la ISO 3382-1

Número de asientos	Número mínimo de posiciones de micrófono
500	6
1000	8
2000	10

Tomando como criterio de selección la influencia del grado de difusión de la sala y la existencia de reflexiones tempranas laterales sobre la impresión espacial, se buscó variabilidad de dichas condiciones en los distintos puntos. Debido a esto se tomaron posiciones dentro del campo difuso. En la Figura 15 se puede observar uno de estos puntos seleccionados.

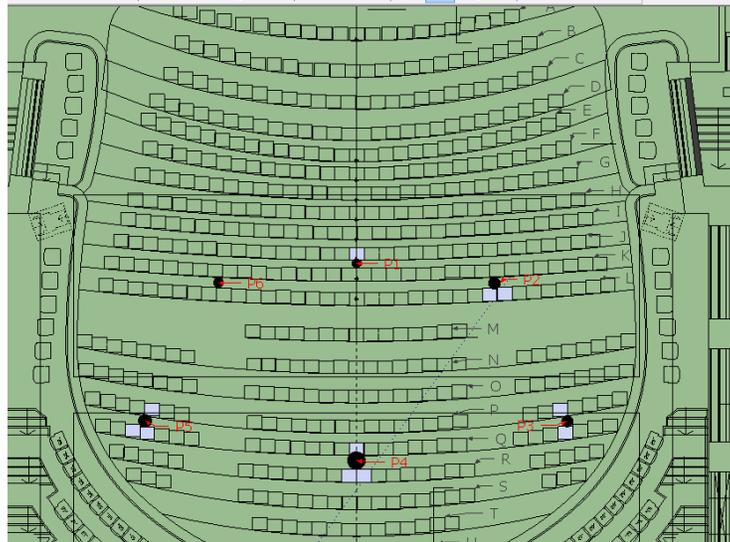
En estos 6 puntos se tomaron los registros fotográficos necesarios para el posterior procesamiento de video.

Figura 15. Imagen del punto número 6 de receptor



La distribución de los puntos de la sala se puede observar en la Figura 16.

Figura 16. Gráfica de ubicación y distribución de puntos de medición de BRIR.



#### 4.3.10 Análisis de IACC en los puntos de medición

Posterior a la medición se hizo un análisis de IACC, debido a que con la medición de respuesta al impulso binaural no solo se obtienen características acústicas de la sala sino que también se puede auralizar. El análisis de ASW y LEV se hizo con los valores de IACC calculados en Easera. Éste análisis se hizo con el objetivo de buscar los 4 puntos de los 6 medidos con los valores mayores y menores de IACC tempranos y tardíos y así encontrar los puntos con mayor y menor ASW y LEV, respectivamente.

Los resultados de las mediciones de IACC tempranos y tardíos se pueden observar en las Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 13. Tabla de valores medidos de IACCe3 por punto

VALORES DE IACCe3 POR BANDAS DE 500-2K PARA DETERMINAR ASW					
	500	1K	2K	IACCe3	BQI
P1	0,203	0,629	0,217	0,34966667	0,65033333
P2	0,415	0,236	0,195	0,282	0,718
P3	0,171	0,147	0,1	0,13933333	0,86066667
P4	0,391	0,521	0,147	0,353	0,647
P5	0,263	0,079	0,098	0,14666667	0,85333333
P6	0,727	0,114	0,082	0,30766667	0,69233333

Tabla 14. Tabla de valores medidos de IACCI3 por punto

VALORES DE IACCI3 POR BANDAS DE 500-2K PARA DETERMINAR LEV					
	500	1K	2K	IACCL3	1-IACCI3
<b>P1</b>	0,232	0,22	0,066	0,17266667	0,82733333
<b>P2</b>	0,22	0,056	0,079	0,11833333	0,88166667
<b>P3</b>	0,193	0,085	0,039	0,10566667	0,89433333
<b>P4</b>	0,284	0,156	0,123	0,18766667	0,81233333
<b>P5</b>	0,379	0,104	0,074	0,18566667	0,81433333
<b>P6</b>	0,316	0,087	0,078	0,16033333	0,83966667

Se tomaron como punto de comparación los valores recomendados por Beranek1 que se observan en las Tabla 1 y Tabla 2, según los cuales el valor máximo de BQI es 1 y el mínimo cero. Para el caso del IACCI3 entre más cercano se encuentre de cero mayor disimilitud hay entre las dos señales.

De acuerdo con estos valores se hizo la selección de los puntos a utilizar para el procesamiento de señales de audio y video. Dicha selección se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Puntos seleccionados para procesamiento según los valores de Beranek para IACCe3 e IACCI3

ASW	1-IACCe3	LEV	1-IACCL3	Puntos seleccionados
P4	0,647	P4	0,81233333	<b>P4</b>
P1	0,65033333	<b>P5</b>	0,81433333	<b>P1</b>
P6	0,69233333	P1	0,82733333	<b>P5</b>
P2	0,718	P6	0,83966667	<b>P3</b>
<b>P5</b>	0,85333333	P2	0,88166667	
P3	0,86066667	P3	0,89433333	

Como se puede observar en la Tabla 15, el punto 4 presenta los menores valores de ASW y LEV y el punto 3 los valores mayores de los mismos. Estos dos puntos por ser comunes a ambos indicadores de espacialidad para valores menores y mayores fueron los 2 primeros puntos seleccionados dentro de los 4 puntos finales.

Se tuvo dificultad en la selección de los siguientes dos puntos debido a una incongruencia en el punto 5 el cual se presenta como el siguiente valor menor de LEV y al mismo tiempo como el siguiente valor mayor de ASW.

Debido a que en el IACCI3 los valores entre puntos se encuentran muy cercanos, se decidió tomar, para una selección más exacta, el punto 5 en el ASW como el siguiente valor mayor dentro de los 4 puntos finales.

Y por último, para el siguiente valor menor se tomó el punto 1 debido a que es el siguiente en la lista del LEV después del punto 5.

Con esto se buscó que los puntos seleccionados tuvieran características del ASW y LEV para sus valores menores y mayores, poder tener variabilidad y puntos de comparación con los resultados finales de la prueba.

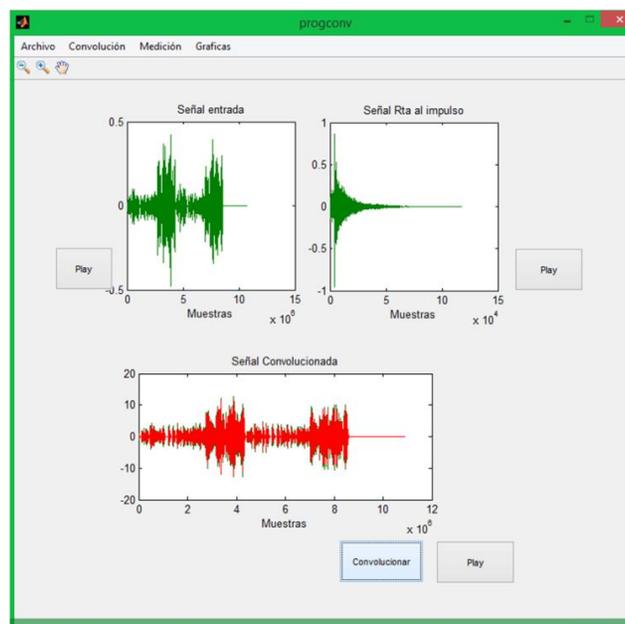
#### 4.4 PROCESAMIENTO DE SEÑAL

El procesamiento de señal se divide en tres etapas principales: auralización de las tomas de audio de los intérpretes con las respuestas al impulso, simulación de ubicación espacial del intérprete dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo y sincronización de audio y video procesado.

##### 4.4.1 Auralización de las tomas de audio de los intérpretes con las respuestas al impulso

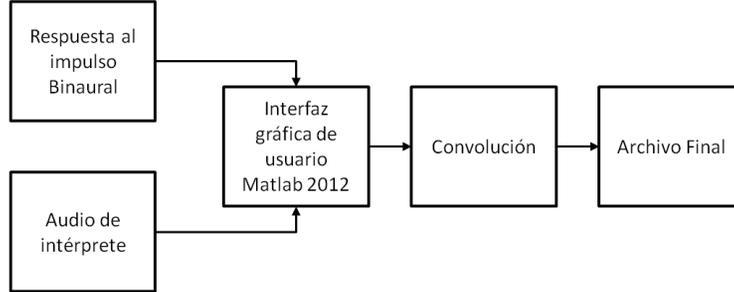
Capturadas las señales de audio se prosiguió a realizar el procesamiento de las mismas. Para realizar las convoluciones del audio grabado de los intérpretes con las respuestas al impulso medidas en el teatro, se utilizó el software Matlab 2012. En la Figura 17 se muestra la interfaz gráfica.

Figura 17. Imagen de la interfaz gráfica de Matlab para procesamiento de audio



Se diseñó y programó una interfaz gráfica de usuario que permitiera cargar un audio y la respuesta al impulso que se deseara, realizar la convolución, obtener las gráficas de las tres señales, reproducirlas y guardar el audio del producto final. En la Figura 18 se muestra el diagrama de bloques del proceso de convolución realizado.

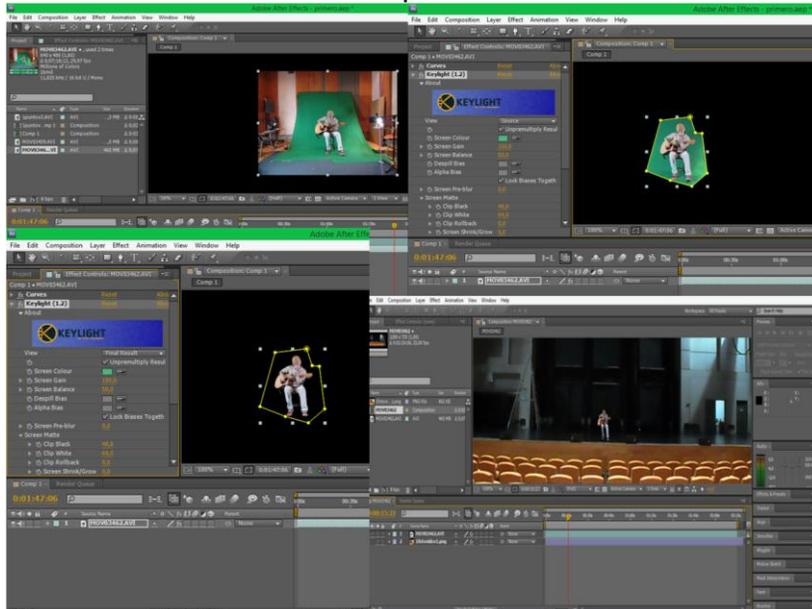
Figura 18. Diagrama de bloques de procedimiento de convolución en Matlab.



#### 4.4.2 Simulación de ubicación espacial del intérprete dentro del Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo.

En Adobe After Effects CS5 se hizo el procesamiento de video y utilizando la herramienta keylight 1.2 del menú de efectos, se removió el fondo verde y se situaron de fondo las imágenes de la visualización del escenario tomadas desde cada punto, en los que se tomaron las muestras de respuesta al impulso, haciendo parecer que el intérprete se encontraba en el Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo. En la Figura 19 se visualiza la interfaz del Adobe y un ejemplo de uno de los videos procesados.

Figura 19. Visualización de video siendo procesado en Adobe After Effects CS5



#### 4.4.3 Sincronización de audio y video procesado

Y finalmente para la sincronización de los videos terminados en Adobe After Effects cs5 y los audios convolucionados en Matlab se utilizó el software Pro Tools 11.

En pro tools 11 se hizo el procedimiento de sincronización en el cual se importaron los 4 audios y los 4 videos para cada instrumento y se sincronizados hasta obtener el resultado deseado. Luego se realizó el bounce en formato .mov de Quicktime, que es el formato brindado por pro tools.

En la Figura 20 se observa una imagen del proceso realizado.

Figura 20. Imagen de sincronización de audio y video en Pro Tools 11



#### 4.5 APLICACIÓN PRUEBAS SUBJETIVAS

Se realizaron dos pruebas subjetivas. La primera con una muestra de 24 participantes. Esta muestra fue seleccionada de manera aleatoria, por lo cual se seleccionaron sujetos dentro de la población de variedad de semestres y edades. Éstos sujetos, en su mayoría, poseían un conocimiento superficial acerca de los conceptos de ASW y LEV a ser evaluados. Sus características son descritas en la Tabla 16.

Tabla 16. Descripción de participantes en prueba subjetiva #1

	Descripción	Número de participantes
<b>Edad</b>	20-25	19
	26-29	3
	30 o más	2
<b>Sexo</b>	M	17
	F	7
<b>Es/Doc</b>	E	22
	DOC	2
<b>Semestre</b>	7-9	9
	10	7
	SG	6
	NA	2

Esta primera prueba subjetiva se llevó a cabo en el estudio digital que forma parte de los laboratorios de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá.

Se ubicó a cada uno de los participantes en una silla con unos audífonos Sony (MDR-XB400) y al frente de una pantalla de 50p ubicada en la parte superior. Los videos fueron elegidos de forma aleatoria por medio de una expresión de Excel. Una vez elegidos los videos que serían vistos por el participante, se le explicó el propósito del consentimiento informado y el procedimiento a seguir durante la prueba. Cada participante leyó el consentimiento y estuvo de acuerdo en hacer parte de la investigación de manera voluntaria y leyó los conceptos de ASW y LEV para que no se presentaran confusiones con respecto a lo que sería evaluado durante el desarrollo de la prueba. Finalmente se explicó el formato de recolección de datos.

Se le colocaron los 3 videos y cada participante dio su percepción al respecto.

En la Figura 21 se puede observar un participante realizando su proceso de prueba.

Figura 21. Participante realizando la primera prueba subjetiva



Se prosiguió a realizar la segunda prueba con una muestra no probabilística. Se utilizó este tipo de muestra debido a su orientación a un número de sujetos elegidos no de forma aleatoria, como se hace en las muestras probabilísticas, sino con un mayor conocimiento de la variable que a evaluar. Esta muestra fue conformada por un número menor de sujetos, teniendo en cuenta que en esta ocasión los sujetos tuviesen un mayor y mejor conocimiento de los parámetros a evaluar (ASW y LEV), no solo de manera conceptual sino aún más importante, de manera perceptual. Esta segunda muestra se hizo con un número de 13 participantes. En la Tabla 17 se pueden observar las características de la segunda muestra evaluada.

Tabla 17. Características de participantes en prueba subjetiva #2

	Descripción	Número de participantes
<b>Edad</b>	21-25	8
	30 o más	5
<b>Sexo</b>	M	8
	F	5
<b>Es/Doc</b>	E	8
	DOC	5
<b>Semestre</b>	9	1
	10	3
	SG	4
	NA	5

En las Tabla 16 y Tabla 17 se puede observar que en la muestra 1 se tuvo mayor diversidad de estudiantes de distintos semestres y se tuvo a dos profesores. Mientras que en la muestra 2 se buscó que estos sujetos cumplieran con los parámetros de experticia mayor y existe una mayor cantidad de profesores con respecto al tamaño de la muestra y los estudiantes se encuentran en semestres superiores.

La segunda prueba se realizó bajo condiciones similares a la anterior, utilizando un consentimiento informado un poco más breve, se explicó con detenimiento la prueba y los conceptos y se dio el tiempo necesario a cada participante para realizar la prueba.

La prueba se realizó dentro del salón 309 del edificio D.S de la Universidad de San Buenaventura. Los resultados del modelo estadístico realizado para ambas muestras se puede ver en la siguiente sección titulada análisis y presentación de resultados.

## 5. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Dentro de la sección de análisis y presentación de resultados se tienen dos secciones debido a lo descrito anteriormente en la realización de dos pruebas subjetivas. Se divide cada sección por parámetro, es decir, se presentan los resultados del modelo estadístico aplicado de forma independiente tanto para ASW como para LEV.

Se deben hallar los valores  $p$  para cada una de las variables independientes ya que estos valores indican si las variables independientes generaron un efecto sobre las variables dependientes. Además asumiendo que la hipótesis nula es cierta, es decir, que las variables independientes no tienen efecto sobre las variables dependientes, el  $p$ -value indica la probabilidad de que dicha hipótesis es cierta. Es por esto que para probar que existe un efecto de las variables independientes sobre las dependientes y poder rechazar la hipótesis nula, asumiendo como cierta la hipótesis alternativa, este valor  $p$  debe ser pequeño e inferior al nivel de significancia establecido de 0.05. Este valor indica que el porcentaje de error del modelo es de un 95%. Cualquier variable independiente con un valor  $p$  que sea superior al nivel de significancia se considera que no es significativa para las variables dependientes.

Se consideró la aplicación de un  $t$ -test a la muestra de observaciones obtenida para cada una de las pruebas realizadas. Sin embargo al ser un test de comparación de significancia de medias de dos grupos o de la media de un grupo con respecto a una media estimada y que su aplicación se hace a tipos de experimento como los diseños con postprueba únicamente y grupo de control y el diseño con preprueba-postprueba y grupo de control, no se consideró que su aplicación y resultados, brindasen información relevante con respecto al tipo de experimento (diseño factorial) que se llevó a cabo a lo largo del desarrollo de ésta investigación.

El modelo lineal de efectos mixtos brinda los valores estimados de los coeficientes que permiten ajustar los datos a una regresión lineal. Debido a que el propósito de ésta investigación, es comprobar que tan significativos son los términos de los efectos fijos sobre la variable de respuesta, no se hace necesario hacer uso de dichos datos y por lo tanto se muestran solo para información general.

Dentro del software Matlab 2013 se definieron parámetros de efectos fijos, aleatorios y variable de respuesta.

- Efectos fijos: Efecto visual, Efecto auditivo y Efecto de punto de receptor. Estos efectos fueron seleccionados como los efectos fijos debido a que son las variables independientes de la investigación y la hipótesis que se desea probar busca evaluar el efecto de dichas variables en las variables de respuesta.

- Efectos aleatorios: Sujeto y repetición. Por haber sido determinados de forma aleatoria y tener una distribución de probabilidad se escogieron sujeto y repetición como efectos aleatorios. Se decidió utilizar repeticiones por sujeto debido al pequeño tamaño de muestra de sujetos y así tener una muestra de mayor tamaño con la cual poder hacer una inferencia estadística.
- Variables de respuesta: ASW y LEV. Son las variables que se evalúan en la investigación y en las pruebas subjetivas realizadas y de las cuales interesa conocer su comportamiento con respecto a los efectos fijos; son las variables dependientes.

## 5.1 RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA SUBJETIVA REALIZADA

El modelo lineal de efectos mixtos por el método de REML, para una muestra de 24 sujetos, realizado por Matlab ofrece las siguientes salidas descritas en la Tabla 18:

Tabla 18. Información del modelo Lineal de Efectos Mixtos por REML

Linear Mixed Effect Model fit by REML	
<b>Model Information:</b>	
<b>Number of Observations</b>	72
<b>Fixed Effect Coefficients</b>	8
<b>Random Effect Coefficients</b>	27
<b>Covariance Parameters</b>	3

- El número de observaciones es 72, el cual corresponde a 24 sujetos por 3 muestras cada uno.
- El número de coeficientes de efectos fijos se define de la siguiente forma: 3 niveles para el efecto fijo Visual, 3 niveles para el efecto fijo Auditivo, 4 niveles para el efecto fijo Receptor y 1 columna de Intercepto la cual es requerida para ajustar los datos de efectos fijos al modelo lineal de efectos mixtos. Esto da 11 columnas de datos de las cuales es necesario remover 3, debido al uso de variables categóricas, lo cual resulta en 8 coeficientes.
- El número de coeficientes de efectos aleatorios corresponde a 24 sujetos sumado a 3 repeticiones por sujeto, lo cual es igual a 27 coeficientes.
- Los parámetros de covarianza son 3, uno por cada término de efecto aleatorio sumado con el parámetro de error.

### 5.1.1 Resultados del ASW para la primera prueba subjetiva

En la ecuación 12 se puede observar que el ASW se define como la variable de respuesta; Visual, Auditory y Receptor son los efectos fijos y Subject y Repetition son los efectos aleatorios para el modelo.

Fórmula:

$$ASW \sim 1 + \text{Visual} + \text{Auditory} + \text{Receptor} + (1 | \text{Subject}) + (1 | \text{Repetition}) \quad (12)$$

En las Tabla 19 y Tabla 20 se observan los datos obtenidos para coeficientes de efectos fijos y valores p por cada uno de los efectos fijos.

Tabla 19. Datos de los coeficientes de efectos fijos del ASW para la primera prueba

Fixed Effects Coefficients				
Name	Estimate	SE	DF	p-Value
Intercept_1	4,928	0,422	64	1,81E-17
Visual2	-0,443	0,379	64	0,24
Visual3	0,0507	0,368	64	0,89
Auditory2	0,7008	0,337	64	0,041
Auditory3	0,335	0,341	64	0,32
Receptor3	-0,219	0,422	64	0,604
Receptor4	-0,926	0,5001	64	0,068
Receptor5	-0,268	0,407	64	0,5124

Tabla 20. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del ASW para la primera prueba

ANOVA marginal tests: DF method ='Residual'				
Term	Fstat	DF1	DF2	pValue
Intercept	135,7	1	64	1,81E-17
Visual	1,118	2	64	0,333
Auditory	2,161	2	64	0,1234
Receptor	1,219	3	64	0,31006

En la primera aplicación de la prueba subjetiva se encontró que los valores p para cada uno de los niveles de los diferentes efectos fijos ( $p=0.333$ ,  $p=0.123$  y  $p=0.31$ ) no fueron inferiores al nivel de significancia establecido de 0.05 por lo cual se concluyó que no son significativos para la variable de respuesta. Esto debido a que la primera muestra de sujetos no estaba compuesta en su mayoría por participantes expertos en el tema a evaluar, es decir, el ASW.

El valor de F crítico para el estímulo visual con los valores de grados de libertad de 2 y 64 fue de  $F(3.15) = 1.118$ , valor que expresa que a pesar de ser superior a 1, es inferior al valor crítico de la distribución F (Anexo E) con los mismos valores de grados de libertad por lo cual, esta variable independiente no tiene nivel de significancia. Para el estímulo auditivo, con los mismos valores de grados de libertad  $F(3.15)=2.161$  también resultó ser inferior por lo cual, de igual forma se considera no significativo. Por último, para el punto de receptor, con 3 y 64 grados de libertad  $F(2.76) = 1.21$  por lo cual, éste último tampoco fue significativo.

Los valores de p-value y F stats son congruentes en cuanto a la significancia de las variables independientes.

En las Figura 22, Figura 23 y Figura 24 se muestran las gráficas de mínimos cuadrados con respecto al ASW, por medio de las cuales se hace una comparación de las medias para los distintos niveles de cada uno de los efectos fijos. En la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 se pueden observar los valores descritos por la gráfica, para cada uno de los efectos fijos.

Figura 22. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Visual para la primera prueba

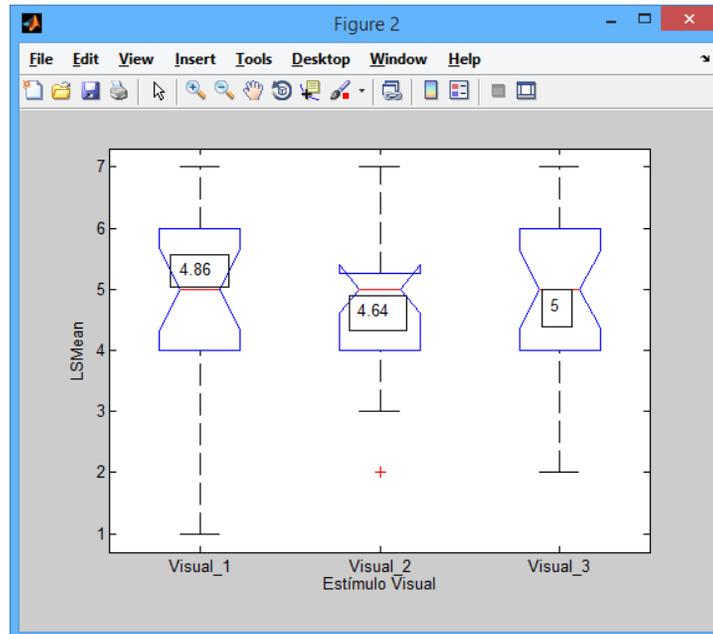


Tabla 21. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de ASW para la primera prueba

ASW1	V1	V2	V3
<b>Visual Means</b>	4,86	4,64	5
<b>n of observations</b>	22	25	25

En la Tabla 21 y en la Figura 23 se observa que el nivel de menor percepción de ASW fue el nivel V2 y el máximo fue el V3. Los resultados de ésta gráfica no coinciden con lo planteado en cuanto a que V2 debería presentar una mayor percepción de ASW que V1. El nivel máximo es coherente con lo planteado, debido a que el resultado expresa que es el V3.

Figura 23. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Auditory para la primera prueba

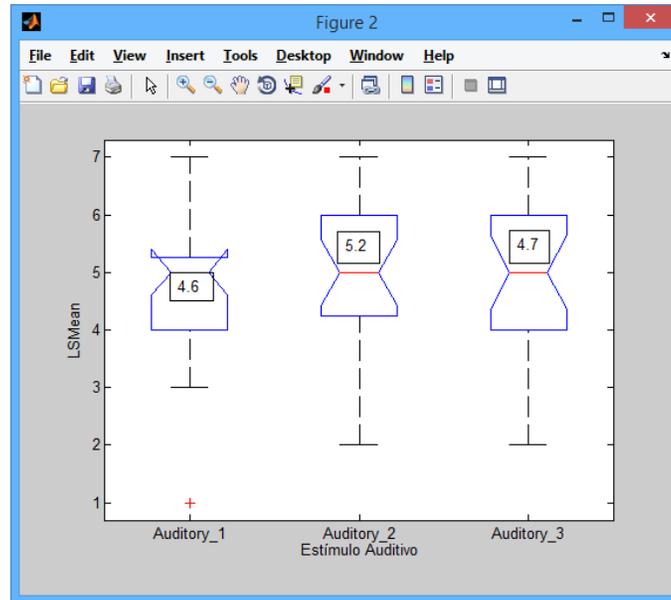


Tabla 22. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de ASW para la primera prueba

ASW1	A1	A2	A3
<b>Auditory Means</b>	4,6	5,2	4,7
<b>n of observations</b>	25	23	24

En la Figura 23 y en la Tabla 22 se observa que el nivel mínimo de percepción de ASE fue el de A1 y el nivel máximo fue el de A2. Este resultado no coincide con lo planteado entre niveles del efecto Auditivo debido a que, el valor máximo de nivel de percepción de LEV debería ser el A3. Es coincidente en cuanto al nivel mínimo de percepción, debido a que éste es A1, sin embargo su valor es muy cercano al de A3, por lo cual se considera que los resultados no se encuentran acorde a lo planteado inicialmente en el diseño del experimento.

Figura 24. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Receptor para la primera prueba

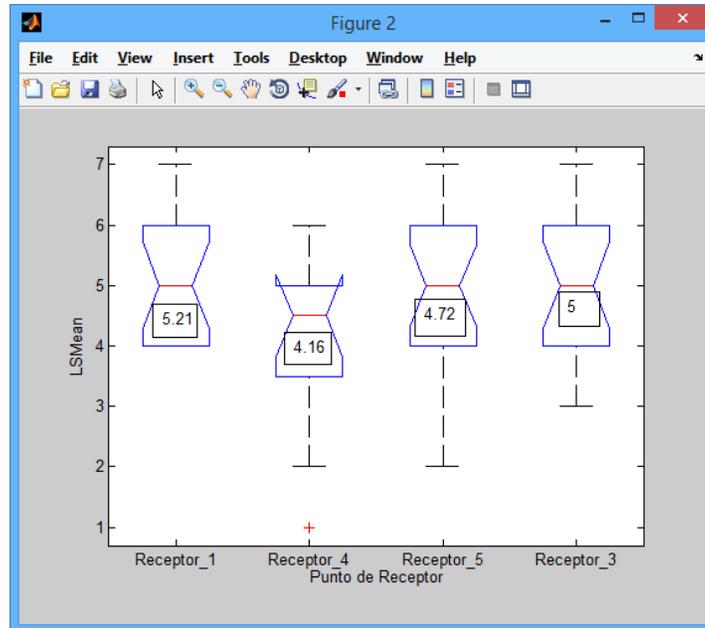


Tabla 23. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de ASW para la primera prueba

ASW1	R1	R3	R4	R5
<b>Auditory Means</b>	5,21	5	4,16	4,72
<b>n of observations</b>	19	12	22	19

Los resultados de la Tabla 15 indican que el punto de receptor con menor valor de ASW según lo medido en el Teatro Julio Mario Santodomingo es el punto R4 con un BQI de 0.647 y siguiendo en orden ascendente el punto R1 con 0.65, el punto R5 con 0.85 y por último con mayor valor el punto R3 con 0.86. El punto R3 y R5 presentan un mayor BQI debido a que son puntos ubicados en costados hacia el fondo del Teatro donde aún conservan una buena vista del escenario y tienen mayor cantidad de reflexiones laterales. Los puntos R4 y R1 son de menor valor debido a que son puntos centrales y a pesar de tener una buena vista del escenario presentan cantidades menores de reflexiones laterales.

En la

Figura 24 y en la Tabla 23 los resultados son coherentes en cuanto al punto de menor percepción R4 que es igualmente el punto con menor valor en la medición. Sin embargo el número de mayor valor percepción R1 debería ser el segundo con menor percepción según lo expresado en la Tabla 15.

### 5.1.2 Resultados del LEV para la primera prueba subjetiva

Fórmula:

$$\text{LEV} \sim 1 + \text{Visual} + \text{Auditory} + \text{Receptor} + (1 | \text{Subject}) + (1 | \text{Repetition}) \quad (13)$$

Tabla 24. Datos de los coeficientes de efectos fijos del LEV para la primera prueba

Fixed Effects Coefficients				
Name	Estimate	SE	DF	p-Value
Intercept_1	5,114	0,467	64	2,78E-16
Visual2	0,091	0,364	64	0,803
Visual3	0,093	0,355	64	0,794
Auditory2	0,652	0,472	64	0,171
Auditory3	0,195	0,482	64	0,687
Receptor3	-0,827	0,404	64	0,044
Receptor4	-1,171	0,479	64	0,017
Receptor5	-0,216	0,39	64	0,58

Tabla 25. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del LEV para la primera prueba

ANOVA marginal tests: DF method = 'Residual'				
Term	Fstat	DF1	DF2	pValue
Intercept	119,56	1	64	2,77E-16
Visual	0,042	2	64	0,958
Auditory	0,99	2	64	0,374
Receptor	3,014	3	64	0,036

En los resultados mostrados en las Tabla 24 y Tabla 25 los valores de p-value para los efectos visuales y auditivos ( $p=0.958$  y  $p=0.374$ ) tienen un valor superior al del nivel de significancia de 0.05, por lo cual para el caso de ésta prueba no serían significativos para la hipótesis ni para la variable de respuesta LEV. Ocurre una excepción con el valor de Receptor ( $p=0.036$ ), ya que éste cumple con la condición de ser menor a 0.05, por lo cual la percepción del parámetro de punto receptor fue asimilada de mejor manera para el LEV por los participantes de la primera prueba.

El valor de F crítico para el estímulo visual con los valores de grados de libertad de 2 y 64 fue de  $F(3.15) = 0.042$ , valor inferior a 1 e inferior al valor crítico de la distribución F (Anexo E) con los mismos valores de grados de libertad por lo cual, esta variable independiente no tiene nivel de significancia. Para el estímulo auditivo, con los mismos valores de grados de libertad  $F(3.15)=0.99$  también resultó ser inferior por lo cual, de igual forma se considera no significativo. Por último, para el punto de receptor, con 3 y 64 grados de libertad  $F(2.76) = 3.014$  por lo cual, éste último sí fue significativo.

Los valores de p-value y F stats son congruentes en cuanto a la significancia de las variables independientes.

De la Figura 25 a la Figura 27 se muestra que existe una condición similar a la observada en los valores del ASW por efecto

Figura 25. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Visual para la primera prueba

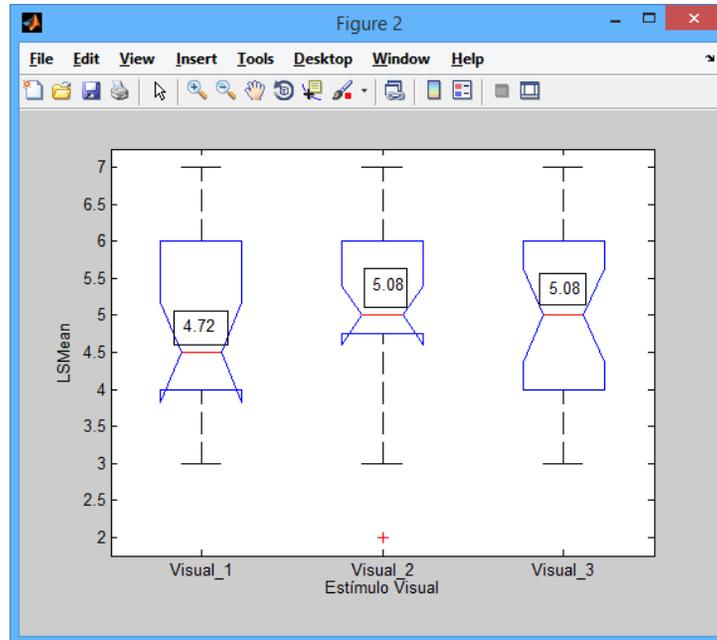


Tabla 26. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de LEV para la primera prueba

LEV1	V1	V2	V3
<b>Visual Means</b>	4,72	5,08	5,08
<b>n of observations</b>	22	25	25

En la Figura 25 y en la Tabla 26 se observa que el valor mínimo de percepción V1 corresponde con el valor planteado en el diseño del experimento. Los niveles V2 y V3 tienen el mismo valor de percepción, lo cual no coincide con lo planteado debido a que V3, debe tener un valor mayor al de V2.

Figura 26. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Auditory para la primera prueba

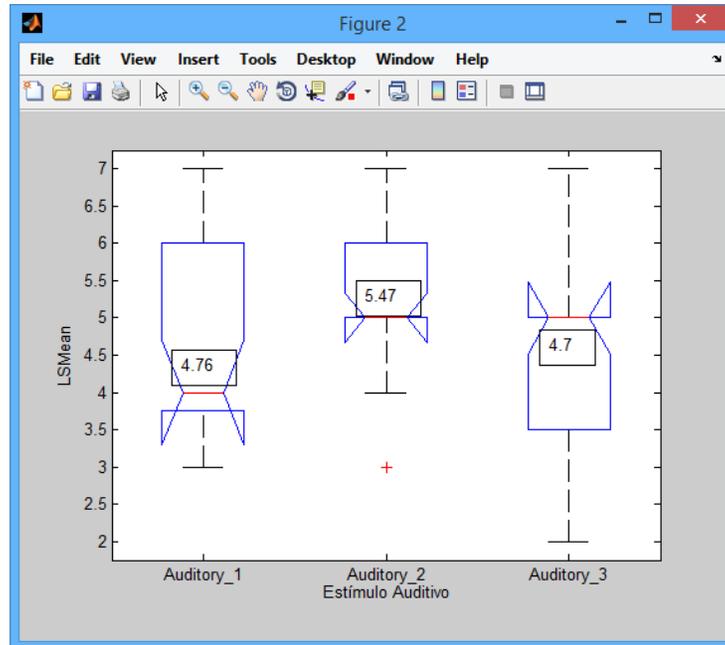


Tabla 27. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de LEV para la primera prueba

LEV1	A1	A2	A3
<b>Auditory Means</b>	4,76	5,47	4,7
<b>n of observations</b>	25	23	24

En la Figura 26 y la Tabla 27 se observa que el valor de menor percepción fue el del nivel A3 y el de mayor valor fue el A2. En ninguno de los dos casos, los resultados coinciden con lo planteado en el diseño experimental debido a que los menores mayor y menor, deben ser el A3 y A1, respectivamente.

Figura 27. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Receptor para la primera prueba

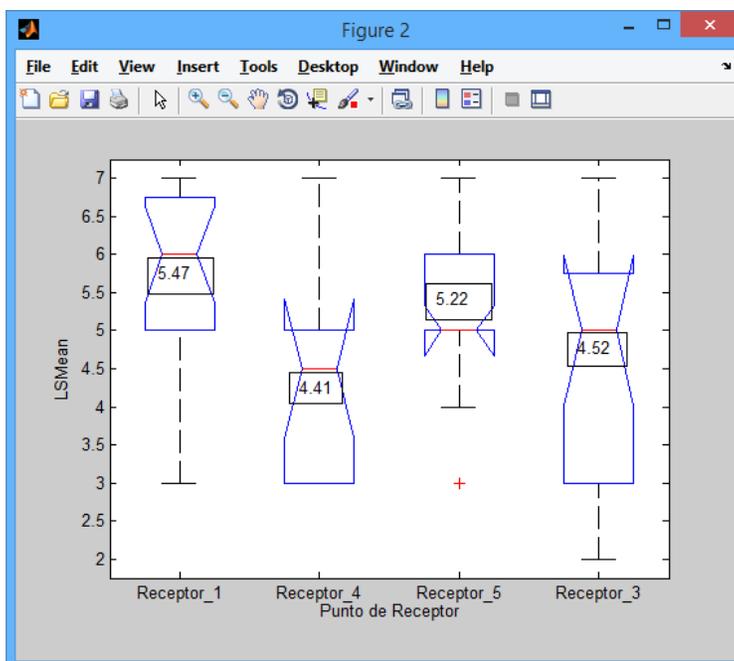


Tabla 28. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de LEV para la primera prueba

LEV1	R1	R3	R4	R5
Receptor Means	5,47	4,52	4,41	5,22
n of observations	19	12	22	19

En la Figura 27 y Tabla 28 se observan los valores de percepción del LEV por punto de receptor. Acorde a la Tabla 15 el valor de menor percepción debe ser el R4 (0.812) y el mayor R3(0.894). Los puntos intermedios para el LEV varían con respecto al ASW debido a que R1(0.827) es el segundo de mayor valor y R5 (0,814) el segundo de menor valor. En los resultados encontrados, se tiene que R4 al igual que lo encontrado en la medición es el valor de menor percepción del LEV. Lo sigue R3 el cual debería ser el punto con mayor percepción, por lo cual no hay coincidencia en ese punto. Por último se tienen los valores R1 y R5 los cuales tampoco coinciden con lo expresado en la Tabla 15 de las mediciones del IACCI3.

## 5.2 RESULTADOS DE LA SEGUNDA PRUEBA SUBJETIVA REALIZADA

El modelo lineal de efectos mixtos por el método de REML, para una muestra de 13 sujetos, realizado por Matlab nos ofrece las siguientes salidas, descritas en la Tabla 29:

Tabla 29. Información del modelo Lineal de Efectos Mixtos por REML

Linear Mixed Effect Model fit by REML	
<b>Model Information:</b>	
<b>Number of Observations</b>	39
<b>Fixed Effect Coefficients</b>	8
<b>Random Effect Coefficients</b>	16
<b>Covariance Parameters</b>	3

- El número de observaciones es 39, el cual corresponde a 13 sujetos por 3 muestras cada uno.
- El número de coeficientes de efectos fijos se define de la siguiente forma: 3 niveles para el efecto fijo Visual, 3 niveles para el efecto fijo Auditory, 4 niveles para el efecto fijo Receptor y 1 columna de Intercepto la cual es requerida para ajustar los datos de efectos fijos al modelo lineal de efectos mixtos. Esto da 11 columnas de datos de las cuales es necesario remover 3, debido al uso de variables categóricas, lo cual resulta en 8 coeficientes.
- El número de coeficientes de efectos aleatorios corresponde a 13 sujetos sumado a 3 repeticiones por sujeto, lo cual es igual a 16 coeficientes.
- Los parámetros de covarianza son 3, uno por cada término de efecto aleatorio sumado con el parámetro de error.

### 5.2.1 Resultados del ASW para la segunda prueba subjetiva

Fórmula:

$$\text{ASW} \sim 1 + \text{Visual} + \text{Auditory} + \text{Receptor} + (1 | \text{Subject}) + (1 | \text{Repetition}) \quad (14)$$

Tabla 30. Datos de los coeficientes de efectos fijos del ASW para la segunda prueba

Fixed Effects Coefficients				
Name	Estimate	SE	DF	p-Value
Intercept_1	2,964	0,3905	31	1,48E-08
Visual2	1,061	0,3103	31	0,0017
Visual3	1,5	0,296	31	1,84E-05
Auditory2	0,548	0,285	31	0,0636
Auditory3	0,4649	0,273	31	9,90E-02
Receptor3	0,7591	0,311	31	2,00E-03
Receptor4	0,203	0,478	31	0,67
Receptor5	1,124	0,337	31	2,20E-02

Tabla 31. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del ASW para la segunda prueba

ANOVA marginal tests: DF method ='Residual'				
Term	Fstat	DF1	DF2	pValue
Intercept	57,59	1	31	1,48E-08
Visual	12,78	2	31	8,93E-05
Auditory	2,34	2	31	0,11
Receptor	4,3	3	31	0,011

De acuerdo a lo concluido de lo obtenido en los resultados de la primera prueba subjetiva, se realizó la segunda prueba buscando sujetos con mayor experticia en los términos de ASW y LEV.

Los resultados que se observan en la Tabla 30 y Tabla 31, reflejan que la conclusión a la que se llegó, según la cual una muestra de sujetos con mayor conocimiento mejoraría los resultados, es acertada. Los valores de p-value para el efecto Visual ( $p=8,93e-5$ ) y el Receptor ( $p=0,011$ ) son mucho menores que el nivel de significancia de 0.05.

El valor del p-value del efecto de Auditory ( $p=0,11$ ) es mayor, por lo cual se puede decir que no es significativo, pero esto puede ser ocasionado por el hecho de que los instrumentos musicales utilizados para los estímulos auditivos no eran significativamente diferentes en tamaño entre ellos.

El valor de F crítico para el estímulo visual con los valores de grados de libertad de 2 y 31 fue de  $F(3.32) = 12.78$ , valor superior a 1 y al valor crítico de la distribución F (Anexo E) con los mismos valores de grados de libertad por lo cual, esta variable independiente sí tiene nivel de significancia. Para el estímulo auditivo, con los mismos valores de grados de libertad  $F(3.32)=2.34$  es superior a 1 pero inferior al valor F crítico por lo cual se considera no significativo. Por último, para el punto

de receptor, con 3 y 31 grados de libertad  $F(2.92) = 4.3$  es superior a 1 y al nivel crítico por lo cual, éste último sí fue significativo.

Los valores de p-value y F stats son congruentes en cuanto a la significancia de las variables independientes.

De la Figura 28 a la Figura 30 se observan los valores de LS Mean para cada uno de los efectos fijos con respecto al ASW.

Figura 28. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Visual para la segunda prueba

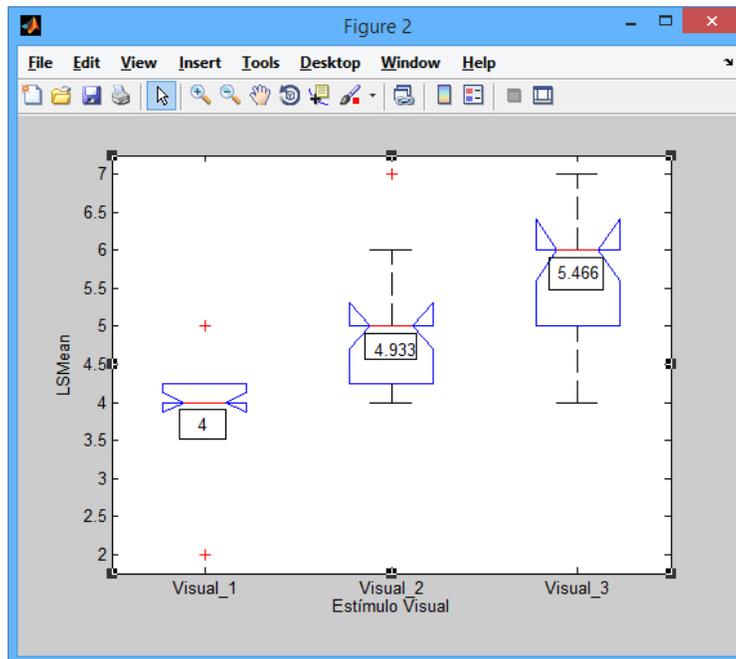


Tabla 32. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de ASW para la segunda prueba

ASW2	V1	V2	V3
<b>Visual Means</b>	4	4,933	5,466
<b>n of observations</b>	9	15	15

En lo observado en la Tabla 32 y la Figura 28 es coherente con lo planteado en el diseño experimental según el cual el nivel del efecto Visual V1 debía tener una percepción de espacialidad del ASW menor, seguido por el nivel V2 y por último el V3.

Figura 29. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Auditory para la segunda prueba

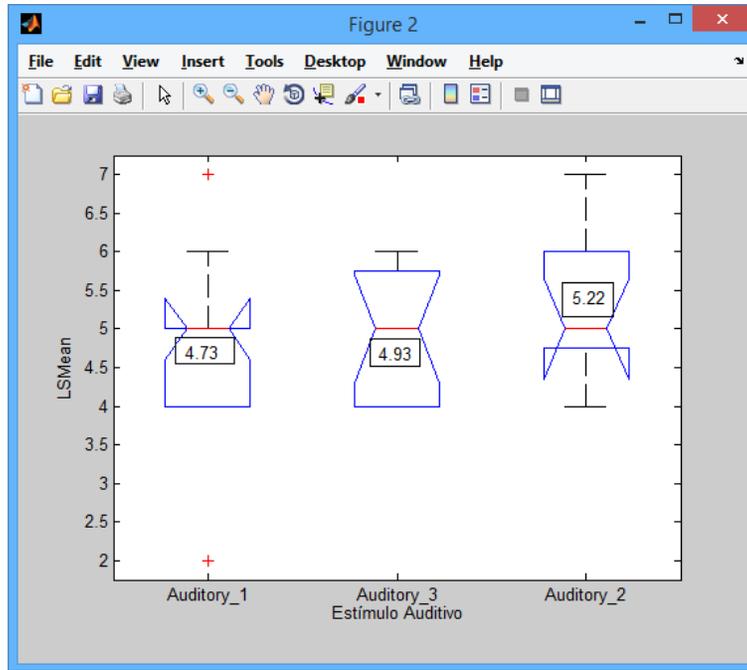


Tabla 33. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de ASW para la segunda prueba

ASW2	A1	A2	A3
<b>Auditory Means</b>	4,733	5,22	4,933
<b>n of observations</b>	15	9	15

En los resultados observados en la Tabla 33 y la Figura 29 para el efecto Auditivo, el valor de menor percepción de ASW es el A1, lo cual es coherente con lo planteado. Sin embargo, el valor de mayor percepción debería ser el A3 y en este caso es el A2.

Esto coincide con lo descrito en los resultados del pvalue en la Tabla 28 donde se tiene un pvalue no significativo debido a una baja variación del tamaño entre los niveles del estímulo auditivo.

Figura 30. Gráfica de LS Mean del ASW para efecto fijo Receptor para la segunda prueba

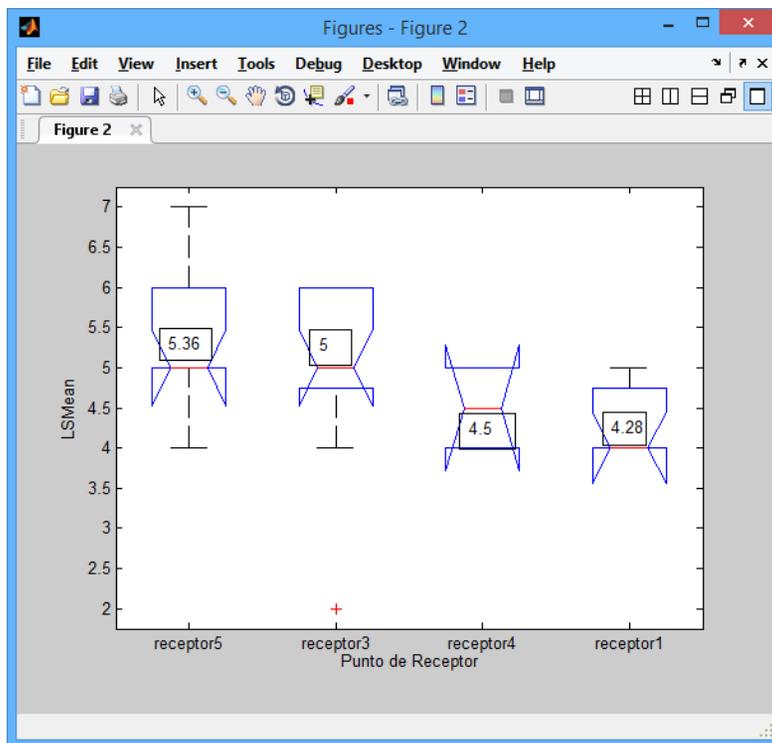


Tabla 34. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de ASW para la segunda prueba

ASW2	R1	R3	R4	R5
<b>Receptor Means</b>	4,28	5	4,5	5,36
<b>n of observations</b>	7	17	4	11

En los resultados de la Figura 30 y la Tabla 34 se observan los resultados de la percepción del ASW por punto de receptor para la segunda prueba. El resultado es coherente en cuanto a que los puntos de mayor BQI, R3 y R5 obtuvieron los mayores valores de percepción de ASW. Igualmente los puntos R4 y R1 con menores valores de BQI obtuvieron los menores valores de percepción. El inconveniente que se presenta es que el menor valor de percepción R1 no corresponde con el de BQI R4 y el mayor valor de percepción R5 no corresponde con el de BQI R3. Sin embargo, considerando que los valores de la medición entre R4 y R1 son cercanos (0.65 y 0.647, respectivamente) y R3 y R5 (0.86 y 0.85), es posible que se presente confusión en la percepción de ASW entre éstos puntos.

### 5.2.2 Resultados del LEV de la segunda prueba subjetiva

En la ecuación 15 se puede observar que el LEV se define como la variable de respuesta; Visual, Auditory y Receptor son los efectos fijos y Subject y Repetition son los efectos aleatorios para el modelo.

Fórmula:

$$\text{LEV} \sim 1 + \text{Visual} + \text{Auditory} + \text{Receptor} + (1 | \text{Subject}) + (1 | \text{Repetition}) \quad (15)$$

En las Tabla 35 y Tabla 36 se muestran los valores de p-value para los coeficientes de efectos fijos para el parámetro LEV.

Tabla 35. Datos de los coeficientes de efectos fijos del LEV para la segunda prueba

Fixed Effects Coefficients				
Name	Estimate	SE	DF	p-Value
Intercept_1	2,404	0,438	31	5,43E-06
Visual2	1,265	0,3156	31	0,00035
Visual3	1,659	0,327	31	1,78E-05
Auditory2	0,774	0,3387	31	0,029
Auditory3	1,241	0,3684	31	2,00E-03
Receptor3	0,649	0,3626	31	8,29E-02
Receptor4	0,499	0,4307	31	0,255
Receptor5	0,974	0,3293	31	5,80E-03

Tabla 36. Datos de p value, Fstatistic y DF para los efectos fijos del LEV para la segunda prueba

ANOVA marginal tests: DF method = 'Residual'				
Term	Fstat	DF1	DF2	pValue
Intercept	30,022	1	31	5,43E-06
Visual	13,951	2	31	4,78E-05
Auditory	5,683	2	31	0,0078
Receptor	2,968	3	31	0,047

Los resultados de los p-value son concluyentes para la percepción del LEV, al igual que los resultados obtenidos para la segunda prueba del ASW. El efecto Visual ( $p=4,78e-5$ ) el efecto Receptor ( $p=0,047$ ) con un valor ligeramente menor al del nivel de significancia y el efecto Auditory ( $p=0,0078$ ) a diferencia del valor obtenido para el ASW resultó ser significativo para la variable respuesta LEV.

El valor de F crítico para el estímulo visual con los valores de grados de libertad de 2 y 31 fue de  $F(3.32) = 13.95$ , valor superior a 1 y al valor crítico de la distribución

F (Anexo E) con los mismos valores de grados de libertad por lo cual, esta variable independiente sí tiene nivel de significancia. Para el estímulo auditivo, con los mismos valores de grados de libertad  $F(3.32)=5.68$  es superior a 1 y al valor F crítico por lo cual se considera que sí es significativo. Por último, para el punto de receptor, con 3 y 31 grados de libertad  $F(2.92) = 2.96$  es superior a 1 y al nivel crítico por lo cual, éste último sí fue significativo. Los valores de p-value y F stats son congruentes en cuanto a la significancia de las variables independientes.

De la Figura 31 a la Figura 33 se describe el comportamiento de las medias para cada nivel perteneciente a cada efecto fijo con respecto al parámetro LEV.

Figura 31. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Visual para la segunda prueba

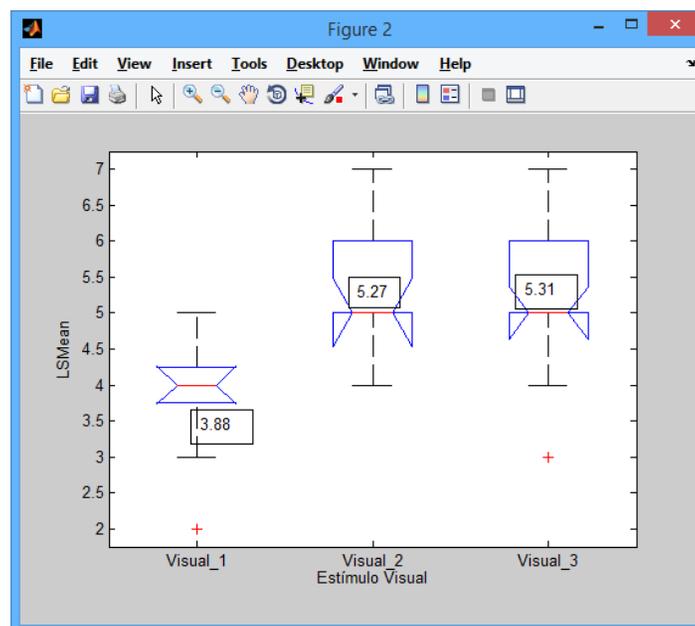


Tabla 37. Datos de LS Mean para el efecto fijo Visual de LEV para la segunda prueba

LEV2	V1	V2	V3
<b>Visual Means</b>	3,88	5,27	5,31
<b>n of observations</b>	9	15	15

En la Figura 31 y la Tabla 37 se tiene una coherencia de resultados con lo planteado en el diseño experimental, debido a una menor percepción del LEV en el nivel V1 y una percepción cercana de los niveles V2 y V3, lo cual puede ser

debido los altavoces colocados a cada lado del intérprete en el nivel V3 del efecto Visual, no generó el efecto de una mayor espacialidad.

Figura 32. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Auditory para la segunda prueba

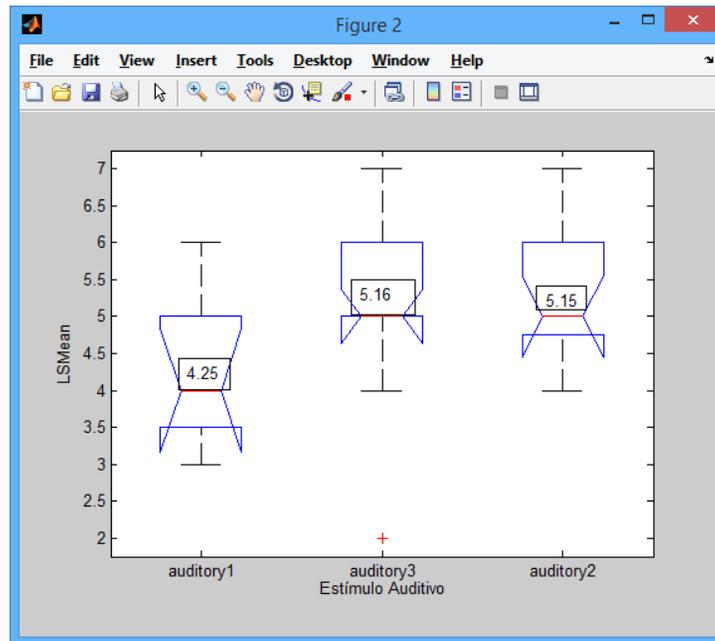


Tabla 38. Datos de LS Mean para el efecto fijo Auditivo de LEV para la segunda prueba

LEV2	A1	A2	A3
<b>Auditory Means</b>	4,25	5,15	5,16
<b>n of observations</b>	15	9	15

En la Figura 32 y la Tabla 38 en las cuales se observa la comparación de medias de los niveles del efecto Auditivo, muestran un resultado coherente con lo planteado en el diseño experimental en el cual la percepción del LEV era menor en el nivel A1, seguido del nivel A2 y por último con mayor percepción en el A3. Esto es coincidente de igual manera con lo expresado en los resultados de ASW de la primera prueba en la cual una baja percepción de variación en los niveles generó un pvalue no significativo para la variable de respuesta.

Figura 33. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Receptor para la segunda prueba

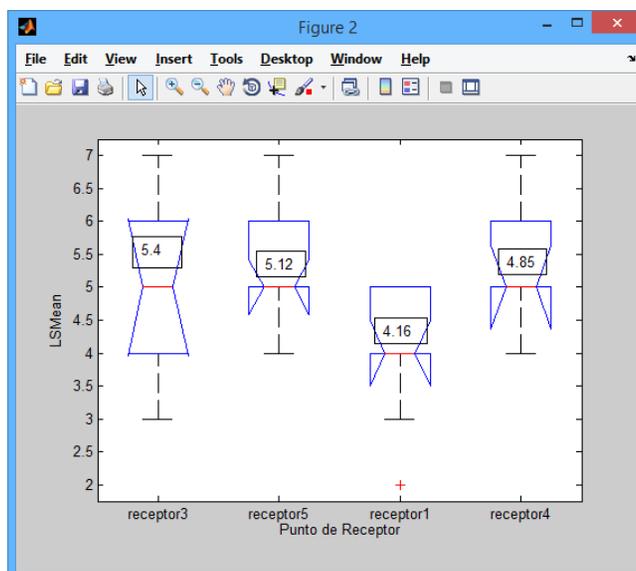


Tabla 39. Datos de LS Mean para el efecto fijo Receptor de LEV para la segunda prueba

LEV2	R1	R3	R4	R5
<b>Receptor Means</b>	4,16	5,4	4,85	5,12
<b>n of observations</b>	7	17	4	11

En la Figura 33. Gráfica de LS Mean del LEV para efecto fijo Receptor para la segunda prueba y la Tabla 39 se puede observar que los resultados coinciden en cuanto a al punto R3 que tiene el nivel de percepción mayor al igual que lo encontrado en la medición en la Tabla 15. Sin embargo el punto R4 no tuvo el nivel de percepción que debió ser el de menor valor, por el contrario fue el nivel R1. Se cree que es posible que se halla presentado este resultado, debido a que los valores hallados en la medición para LEV son muy cercanos y no hay una certeza de que exista una diferencia significativa entre ellos.

Tabla 40. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del ASW para la primera prueba

Random Effects Covariance Parameters				
Name1	Type	Estimate	Lower	Upper
<b>Group1: Subject(24 levels)</b>	std	0,6872	0,6872	1,3046
<b>Group2:Repetition(3levels)</b>	std	2,75E-07	0	Inf
<b>Group3:Error</b>	Res std	1,134	0,9107	1,4136

Tabla 41. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del LEV para la primera prueba

Random Effects Covariance Parameters				
Name1	Type	Estimate	Lower	Upper
Group1: Subject(13 levels)	std	0,63	0,333	1,192
Group2:Repetition(3levels)	std	0,301	0,0023	38,61
Group3:Error	Res			
	std	1,0915	0,876	1,359

Tabla 42. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del ASW para la segunda prueba

Random Effects Covariance Parameters				
Name1	Type	Estimate	Lower	Upper
Group1: Subject(13 levels)	std	0,3622	0,142	0,921
Group2:Repetition(3levels)	std	0,177	0,0218	1,444
Group3:Error	Res			
	std	0,625	0,453	0,86

Tabla 43. Datos de los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios del LEV para la segunda prueba

Random Effects Covariance Parameters				
Name1	Type	Estimate	Lower	Upper
Group1: Subject(13 levels)	std	0,418	0,174	1,007
Group2:Repetition(3levels)	std	3,73E-11	NAN	NAN
Group3:Error	Res			
	std	0,667	0,484	0,918

De la Tabla 40, a la Tabla 43, se indica el valor parámetro de covarianza por cada uno de los términos de efectos aleatorios, los cuales al ser igual a cero indican que: asumiendo que la hipótesis nula es cierta, pueden ser omitidos de la prueba. En la Tabla 43 el valor del intervalo parámetro de covarianza del término de efecto aleatorio Repetición, contiene el valor de cero, por lo cual para la primera prueba realizada para el ASW sería omitido.

Por último en las Tabla 44 y Tabla 45 se presentan los valores de medias de las dos muestras de sujetos y las desviaciones estándar para cada uno de las variables de respuesta ASW y LEV.

Tabla 44. Datos de media por prueba subjetiva y parámetro de espacialidad

<b>MEDIA</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>
<b>ASW</b>	4,83333333	4,92307692
<b>LEV</b>	4,97222222	4,97435897

Tabla 45. Datos de desviación estándar por prueba subjetiva y parámetro de espacialidad

<b>DESV ESTÁNDAR</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>
<b>ASW</b>	1,35551634	0,98367237
<b>LEV</b>	1,33186539	1,1352528

En la Tabla 45, se observa que la impresión espacial de ambas muestras, para ambos parámetros (ASW y LEV) fue homogénea y se mantuvo en un valor aproximado de 4.9 puntos. La desviación estándar observada en la Tabla 45 para la primera prueba fue de aproximadamente 1.3 y para la segunda entre 0.9 y 1.1. Esto quiere decir que la impresión espacial para la primera prueba estuvo aproximadamente entre 3.6 y 6.2 y para la segunda prueba, entre 3.9 y 5.9. Estos dos rangos se encuentran muy cercanos y son de un tamaño mediano a grande, por lo cual se sugiere que dicha impresión es debida a las características del sitio de medición de la respuesta al impulso: El Teatro Mayor Julio Mario Santodomingo, el cual es de gran tamaño.

## 6. CONCLUSIONES

- Los valores de los p-values de los efectos fijos, obtenidos en la primera prueba con la muestra de sujetos con poca experiencia para ASW, expresan que no existe significancia en los estímulos visuales ( $p=0.33$ ), auditivos ( $p=0.12$ ) y punto de receptor ( $p=0.31$ ) en las variables de respuesta, por lo cual se debe aceptar la hipótesis nula. Esto quiere decir que el ancho aparente no se vio influenciado por los estímulos visuales, auditivos y el punto de receptor.
- Los valores de los p-values de los efectos fijos, obtenidos en la primera prueba con la muestra de sujetos con poca experiencia en la percepción del LEV, expresan que no existe significancia en los estímulos visuales ( $p=0.95$ ) y auditivos ( $p=0.37$ ) por tanto, es necesario aceptar la hipótesis nula. Esto significa que los estímulos visuales y los auditivos no tuvieron influencia en la percepción del oyente de sentirse envuelto por el campo sonoro generado por la fuente.
- El valor obtenido del p-value para el LEV del punto de receptor ( $p=0.036$ ) es menor al valor de significancia ( $0.05$ ), por lo tanto para la primera prueba se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el punto de receptor influye en la percepción del LEV. Esto se pudo deber a que la variación existente entre los diferentes puntos de receptor con respecto al nivel de involucramiento, fue de mayor notoriedad y a una mayor capacidad de percepción por parte de los oyentes ante los cambios del nivel de involucramiento al existir un cambio de punto de receptor dentro de la sala.
- Los resultados de las gráficas de LS Mean para ASW y LEV, de estímulos visuales, auditivos y punto de receptor no son coherentes con lo planteado en el diseño experimental y las mediciones realizadas de IACCe3 e IACCI3. Esto se debió a que la variación de los distintos efectos no generó una variación en las variables de respuesta, por lo tanto la diferencia entre los distintos niveles de los efectos no fue percibida por los oyentes.
- Se pudo evidenciar en los resultados mostrados que fue necesario contar con una muestra de sujetos con experticia y entrenamiento auditivo en el conocimiento y percepción de los conceptos a evaluar (ASW y LEV), para la aprobación de la hipótesis de investigación y encontrar que los estímulos visuales, los estímulos auditivos y el punto de receptor en la sala, influyen en la percepción de los parámetros que permiten estimar la percepción espacial de una fuente sonora: el ASW y el LEV.
- Según los resultados obtenidos en la segunda prueba respecto a los p-values para ASW, los estímulos visuales ( $p=8,93E-05$ ) y el punto de receptor ( $p=0,011$ ), son significativos y tienen influencia en la variable de respuesta

ASW. Por lo tanto la hipótesis nula es rechazada y se asume como cierta, la hipótesis alternativa. Esto significa que para los sujetos que realizaron la segunda prueba subjetiva, se pudo notar que los estímulos visuales y el punto de receptor generaron una variación importante en la percepción del ancho aparente de la fuente.

- La baja variación entre los niveles del estímulo auditivo ( $A1 = 4.733$ ,  $A2 = 5.22$  y  $A3 = 4.93$ ), generó un efecto en el valor del p-value ( $p = 0.11$ ) del efecto fijo Auditivo para la percepción del ASW y resultó no significativo para la hipótesis, por lo cual se debe aceptar la hipótesis nula para la cual el estímulo auditivo no genera ningún efecto en la percepción del ASW. Esto indica que la variación entre las características del intérprete de la voz, de la guitarra y la batería no generaron un cambio que pudiera ser medible en la percepción del nivel de involucramiento.
- Se presentaron confusiones en la percepción de ASW por parte de los sujetos, en los puntos de receptor, debido a que los puntos con mayor valor de BQI medido R3 y R5, presentan una puntuación contraria dada por parte de los sujetos colocando como punto mayor a R5 y de manera similar ocurrió los valores de menor BQI, R4 y R1 para los cuales la percepción fue contraria, colocando a R1 como de menor valor. Esto ocurre debido a que los valores de IACCe3 encontrados en los puntos R3 y R5 se encuentran muy cercanos (0.85 y 0.86 respectivamente) y la percepción se vuelve imprecisa al igual que con R4 y R1 (0.65 y 0.647).
- Según los resultados obtenidos en la segunda prueba respecto a los p-values para LEV, los estímulos visuales ( $p = 4.79E-05$ ), los estímulos auditivos ( $p = 0.0078$ ) y el punto de receptor ( $p = 0.047$ ), son significativos y tienen influencia en la variable de respuesta LEV. Por lo tanto la hipótesis nula es rechazada y se asuma como cierta, la hipótesis alternativa. Esto indica que la percepción del LEV tuvo una influencia de las tres variables independientes y su variación pudo ejercer un efecto en la variable de respuesta, el cual fue medido y percibido por los participantes de la segunda prueba.
- En las gráficas de LS Mean para estímulos visuales, tanto para ASW como LEV hubo coherencia en los resultados con respecto a lo planteado en el diseño experimental según el cual V1 era el menor valor de percepción, V2 el medio y V3 el más alto. Sin embargo, se presentaron valores muy cercanos entre V2 y V3, lo cual fue generado debido a que el nivel V1 posee un estímulo visual nulo y por el contrario los niveles V2 y V3 muestran al intérprete solo o acompañado de dos altavoces lo que generó una impresión de espacialidad mayor y de alguna manera, similar.

- Los estímulos auditivos para el LEV se comportaron de manera similar a los estímulos visuales, ya que se encontró que a pesar de que hay coherencia y el nivel A1 tiene el menor valor de percepción, A2 el medio y A3 el mayor, se encontró que los niveles A2 y A3 tienen valores muy cercanos. Esto se pudo ocasionar debido a lo manifestado por algunos de los sujetos, en cuanto que el tamaño del nivel A2 (guitarra), se sentía de un gran tamaño dentro del recinto y es por esto que su tamaño puede ser comparado con el del A3 (la batería), instrumento que emite frecuencias bajas y al estar compuesto de diversos tambores, genera una percepción de gran tamaño.
- Se presentaron confusiones en cuanto a la percepción del LEV para la segunda prueba en los puntos de receptor, debido a que los valores medidos de IACCI3 tienen valores muy cercanos entre sí y no existe certeza en cuanto a la diferencia existente en LEV de cada uno de esos puntos.
- Los resultados de los valores de Fstatistic reflejan las mismas significancias expresadas por los p-values, lo cual indica que existe coherencia entre éstos dos valores.
- Según los resultados obtenidos en las tablas de medias y desviaciones estándar se observó que la media se mantuvo aproximadamente en 4.9 para ambas muestras y ambos parámetros, lo cual se cree que fue generado por el gran tamaño del Teatro Julio Mario Santodomingo, el cual permitió una percepción de gran tamaño de fuente y de nivel de involucramiento para cada uno de los intérpretes presentados.
- Según los resultados encontrados en los parámetros de covarianza de los efectos aleatorios para la segunda prueba, en los cuales no se encontró un valor de covarianza igual a cero, los efectos de sujeto y repetición son significativos para la investigación realizada, por lo cual su efecto tuvo importancia en los resultados obtenidos en la investigación, con la segunda muestra tomada.

## RECOMENDACIONES

- Se sugieren trabajos futuros en los cuales se realice una medición de fracciones laterales, las cuales permitan hacer un estimado más cercano acerca del nivel de involucramiento presentado en cada punto de la sala.
- Es necesario hacer investigaciones en las cuales se logre estandarizar un método de recolección de información que represente de manera precisa, datos subjetivos como los utilizados para ésta investigación, de manera cuantitativa.
- También se sugiere realizar un trabajo en el cual se utilice un telón verde de mayor envergadura con iluminación profesional y una cámara HD para la realización de los videos, los cuales permitan realizar grabaciones de instrumentos de mayor tamaño y así obtener una mayor variación en el efecto visual y auditivo e igualmente una mayor calidad en las muestras de video tomadas.
- Este trabajo de investigación fue realizado con muestras fotográficas y de audio de un teatro, por lo cual para trabajos futuros se sugiere una aplicación de mayor alcance en iglesias, auditorios y estadios buscando encontrar el comportamiento de la hipótesis de estudio para distintos escenarios y espacios acústicos.
- Es importante tener en cuenta para trabajos futuros no solo conocer cómo influyen los estímulos visuales, los estímulos auditivos y el punto de receptor en la impresión espacial, sino también poder observar la preferencia del oyente sobre la ubicación dentro del recinto cuando se tienen diferentes combinaciones de los tres parámetros mencionados y así poderlo aplicar en el diseño de salas y en el perfeccionamiento de la combinación de dichos parámetros en cada una de las sillas dentro de la audiencia, en salas ya existentes.
- Sería de gran innovación llevar a cabo un proyecto en el cual se pudiera realizar la evaluación de los parámetros de espacialidad dentro del recinto en tiempo real, teniendo al intérprete y los sujetos para la prueba en distintas ubicaciones en la audiencia y realizar una recolección de datos por medio de un dispositivo que los almacene en una base de datos y poder estimar una percepción de espacialidad de los espectáculos brindados dentro del recinto, más cercana a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1 BERANEK. Leo. Concert Halls and Opera Houses; Music, Acoustics, and architecture 2 ed. Cambridge. Springer. 2004. 661p. ISBN 0387955240.

2 BERENSON. Mark. Estadística para administración y economía. México. Interamericana. 1981. 720p. ISBN 9682509017.

3 Caballero, J., Jiménez, P., Cervantes, C. Estimación por máxima verosimilitud restringida de los componentes de varianza y covarianza de múltiples características bajo los diseños I y II de carolina del norte. Rev. Fitotec. Mex. Vol 26(1):53-66:2003.

4 CARRIÓN ISBERT. Antony. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona : Edicions UPC 1998. 421 p. ISBN 84-8301-252-9.

5 Draghici. S. Statistics and data analysis for microarrays using R and bioconductor 2ed. Chapman&Hall/CRC. 2012. ISBN 978-1-4398-0975-4.

6 Fernández, Emma. García, Loureiro. Métodos estadísticos y valor P (p-vaue): Historia de una controversia. Universidad de Buenos Aires. 5p.

7 FOSTER. Jeff. The Green Screen Handbook Real World Production Techniques. Indianápolis. Sybex. 2010. 778p. ISBN 978047052107.

8 Guilford, J.P. Psychometric Methods. Mc Graw Hill book company, inc. New york. 1954. ISBN 53-12430. 597p.

9 HERNÁNDEZ. Roberto, FERNANDEZ. Carlos. Metodología de la investigación. México. McGraw-Hill. 1997. 505p. ISBN. 9684229313

10 Iwamiya, S., 1994. Interactions between auditory and visual processing when listening to music in an audio visual context: 1. Matching 2. Audio Quality. Psychomusicology, 13,133-154.

11 Jeon, J. Y., Kim, Y. H., 2006. The effect of visual and auditory cues on seat preference in an opera theater. *J. Acoust. Soc. Am.* 123 (6), 4272-4282.

12 JERUB. Marco, MAGNUS. Schäfer, VARY. Peter. A binaural room impulse response database for the evaluation of dereverberation algorithm. Institute of communication systems and data processing RWTH Aachen University, Germany. 2009. 5p.

13 Joshi. D.D. Linear estimation and design of experiments. New Age International publishers. 2003. ISBN 0 85226 517 4

14 KAMEN. Edward, HECK. Bonnie. Fundamentos De Señales y Sistemas usando la web y Matlab 3 ed. Mexico. Prentice Hall Mexico. 2008. 672p. ISBN 978-970-26-1187-5

15 Kramer, Karen. Maya children helpers at the farm. President and fellows of harvard college. 2005. ISBN 0-674-01690-4.

16 Lewald, J., Ehrenstein, W.H., Guski, R., 2000. Spatio-temporal constraints for auditory-visual integration. *Behavioural Brain Research* 121 (2001) 69–79.

17 LITELL. Ramon, MILLIKEN. George, STROUP. Walter, WOLFINGER. Russel, SCHABENBERGER. Oliver. SAS for Mixed Models 2 ed. Cary, NC. SAS Institute Inc. 2006. 814p. ISBN-13: 978-1-59047-500-3.

18 LOMAX, Richard. Statistical concepts: a second course for education and the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates. London. 2001. 323p.

19 Marshall, A.H. y Barron, M. (1.981) "Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls", *J. Sound Vib.* 77, 211-232

20 MILES, Jeremy. FIELD, Jeremy. Discovering statistics using SAS. SAGE 2010. Los angeles CA. ISBN 9781849200929. 719p.

21 MILES, Jeremy. BANYARD, Philip. Understanding and using statistics in psychology. SAGE Publications. 2007. London. ISBN 978-0-7619-4396-9. 356p.

22 MILLÁN. Juan. Instalaciones de megafonía y sonorización. Editorial Paraninfo 2012. 1352 p. ISBN 8497328914, 9788497328913.

23 OPPEHNEIM. Alan, WILLSKY, Alan, HAMID. Nawab, MATA. Gloria. Señales y sistemas 2ed. Instituto de tecnología de Massachusetts. Prentice Hall Hispanoamérica S.A. 1997-1998. 956p. ISBN 0138147574.

24 OSBORN. Carol. Statistical Applications for Health information management 2 ed. Jones and Barlett publishers, Inc. 2006. ISBN 0-7637-2842-X.

25 OSGOOD, SUCI, TANNENBAUM. The measurement of meaning. Illini Books. 1957. ISBN 56-5684. 346p.

26 PERRY, Hinton. Statistics Explained. Routledge. 2004. New York. ISBN 0-415-33285.

27 PINHEIRO. José, DOUGLAES. Bates. Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. New York Springer. ISBN 0-387-98957-9. 523p.

28 Recanzone, G., 2009. Interactions of auditory and visual stimuli in space and time. Hearing Research 258 (2009) 89–99.

29 Sheskin. David. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures 3ed. Chapman&Hall/crc. 2004. ISBN 1-58488-440-1.

30 SWALLOW, W. MONAHAN, J. Monte Carlo comparisons of ANOVA, MIVQUE, REML, and ML estimators of Variance components. North Carolina state university. Technometrics 1984. 11p.

31 Valente, D.L., Braasch, J., 2008. Subjective scaling of spatial room acoustic parameters influenced by visual environmental cues. J. Acoust. Soc. Am. 128 (4), 1952–1964.

32 VENDRELL. Francisco, LIINARES. Jaime, LLOPIS. Ana. Acústica arquitectónica y urbanística. México Limusa 2008 . 368 p. il. 23 cm . ISBN 9789681870348.

33 Walker, Glenn. Shostak, Jack. Common statistical methods for clinical research with S.A.S Examples 3ed.SAS publishing. 2010. ISBN 978-1-60764-228-2.

34 WALPOLE. Ronald, MYERS. Raymond, MYERS. Sharon. Probabilidad y estadística para Ingenieros 6 ed. México. Pearson Educación. 1999. 739p. ISBN 9701702646.

35 Wasa, Y., Kitagawa, N., Noguchi, K., 2003. Audio-visual integration in temporal perception. International Journal of Psychophysiology 50 (2003) 117–124.

36 West. Brady. Velch. Kathleen. Galecki. Andrzej. Linear Mixed Models: A practical guide using statistical software. Chapman&Hall/CRC. 2007. ISBN10: 1-58488-480-0.

37 WILLIAMS. John. Manual de la ética médica. Asociación médica mundial 2 ed. 2009. ISBN 92 99002835

38 WRIGHT. Steve. Compositin Visual Effects Essential of the aspiring artist 2ed. Oxford UK .Focar Press. 2011. ISBN 9780240817811.

39 Yadav, M., Cabrera, D., Martens, W.L., 2011. Auditory room size perceived from a room acoustic simulation with autophonic stimuli. Acoustics Australia Vol. 39 December (2011) No. 3 – 101.

40 Zampini, M., Guest, S., Shore, D.I., Spence, C., 2005. Audio-visual simultaneity judgments. Perception & Psychophysics 2005, 67 (3), 531-544.

## ANEXOS

**ANEXO A.** Ejemplo de aplicación del diferencial semántico, sacado de la referencia Hernández<sup>8</sup>.

### Escala bipolar

Objeto de actitud: Candidato "A"

justo : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : injusto

---

Debe observarse que los adjetivos son "extremos" y que entre ellos hay siete opciones de respuesta. Cada sujeto califica al candidato "A" en términos de esta escala de adjetivos bipolares.

Osgood, Suci y Tannenbaum (1957) nos indican que, si el sujeto considera que el objeto de actitud se relaciona *muy estrechamente* con uno u otro extremo de la escala, la respuesta se marca así:

justo:   X   : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : injusto

O de la siguiente manera:

justo: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :   X   : \_\_\_\_\_ : injusto

Si el sujeto participante considera que el objeto de actitud se relaciona *estrechamente* con uno u otro extremo de la escala, la respuesta se marca así (dependiendo del extremo en cuestión):

justo: \_\_\_\_\_ :   X   : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : injusto

justo: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :   X   : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : injusto

<sup>12</sup> Para profundizar en el diferencial semántico se recomienda consultar: Osgood, Suci y Tannenbaum (1957, 1976a y 1976b), así como Heise (1976).

**ANEXO B.** Prueba subjetiva de percepción espacial aplicada.

**Formato de realización de prueba**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Edad:** \_\_\_\_\_ **Sexo:** F \_\_\_\_\_  
M \_\_\_\_\_

**Estudiante:** \_\_\_\_\_ **Docente:** \_\_\_\_\_ **Semestre:**  
\_\_\_\_\_

**1. Coloque una X en la casilla que considere correcta según su percepción acerca del ancho aparente de la fuente sonora (ASW), para cada uno de los videos observados:**

1) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

2) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

3) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

**2. Coloque una X en la casilla que considere correcta según su percepción acerca del nivel de envolvimiento de la fuente sonora (LEV), para cada uno de los videos observados:**

1) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

2) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

3) Grande: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ :Pequeña

## **ANEXO C.** Consentimiento informado utilizado para la primera aplicación de la prueba

Este documento de Consentimiento Informado se dirige a estudiantes y profesores del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

**Nombre del investigador principal:** Ana María Quintero Peña

**Nombre de la Organización:** Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá.

### **Este documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:**

- Información (sobre el estudio)
- Formulario de consentimiento (donde firma si está de acuerdo o no en participar)

Se le proporcionará una copia del documento completo de Consentimiento Informado.

## **PARTE I: INFORMACIÓN**

### **Introducción**

Yo soy estudiante de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Estoy realizando mi proyecto de grado el cual busca investigar acerca de los parámetros de impresión espacial que son el ancho aparente de la fuente (ASW) y el nivel de involucramiento (LEV). Antes de decidirse a participar en esta investigación, puede hablar con alguien con quien se sienta cómodo sobre la investigación. Si tiene preguntas puede hablar conmigo al respecto y puede tomarse el tiempo que desee para reflexionar si quiere participar en la investigación.

### **Propósito**

La impresión espacial de una fuente sonora es un parámetro importante a evaluar en salas y recintos acústicos. El hacer el estudio respecto a este, nos permite conocer mejor la manera en que se comporta y como puede llegar a ser modificado. La información brindada en éste experimento permite tener un mejor conocimiento al respecto y poder finalizar la realización de mi proyecto de grado.

### **Tipo de Intervención de Investigación**

Esta investigación incluye solo que usted nos brinde información respecto a lo que percibe de acuerdo con los parámetros que están siendo estudiados.

### **Selección de participantes**

Se invitó a los estudiantes y profesores de Ingeniería de sonido a hacer parte de éste experimento debido a que conocen los conceptos a evaluar y pueden dar un juicio respecto a la percepción requerida.

### **Participación voluntaria**

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. No existirán inconvenientes en caso de que decida no hacerlo e incluso si decide hacerlo y cambia de idea más tarde.

### **Descripción del proceso**

Por favor lea detenidamente las siguientes instrucciones que son vitales para el desarrollo exitoso de la prueba que se ha de realizar a continuación. Si usted no entiende alguna de las instrucciones o conceptos, comuníquese con el encargado de la prueba para que le asesore.

1. Usted se encuentra sentado frente a un computador con audífonos en los cuales se le presentaran 3 muestras de video las que deberá ver y escuchar con mucha atención.
2. Junto con este documento se le entregara un formato de prueba. El formato de prueba deberá diligenciarlo con sus datos y se le pedirá que dé su opinión respecto a lo descrito en el punto 3.
3. El objetivo de esta prueba es que usted escuche y vea cada video y dé su percepción acerca de los parámetros de: ancho aparente de la fuente (ASW) y nivel de involucramiento (LEV) (De los cuales se explican los conceptos en la parte final de este documento). Podrá ver cada video las veces que necesite y una vez tenga su respuesta deberá llenar el formato y continuar con el siguiente video.
4. Una vez finalizada la prueba hable con el encargado quien le recibirá los documentos.

### **Duración**

Entre videos, debe tomarse un tiempo de al menos 1 minutos. El tiempo máximo total de la prueba por persona es de 20 minutos.

### **Riesgos**

Al participar en esta investigación debe evitar exponerse a niveles muy altos en la reproducción del audio en los audífonos. Antes de empezar asegúrese de que no se encuentra demasiado fuerte.

### **Beneficios**

Si usted participa en esta investigación aportará a los conocimientos con respecto a la impresión espacial en salas y estudios futuros con respecto a dicho tema.

### **Confidencialidad**

No se compartirá la información de aquellos que participan en esta investigación a menos que usted lo desee. Es preferible que mientras se lleva a cabo la prueba no comente a otros participantes en qué consistió para evitar sugerencias respecto al tema de investigación. Sólo el investigador tendrá acceso a su nombre y los datos dados durante la realización de ésta.

## **Compartiendo los resultados**

El conocimiento que se obtenga por realizar ésta investigación se compartirá con usted antes de que se haga disponible al público. Se publicarán los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de nuestra investigación.

## **A quién contactar**

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después haberse iniciado el estudio. Si desea hacer preguntas más tarde se puede contactar con [Ana María Quintero Peña: amquintero@academia.usbbog.edu.co]

## **PARTE II: Formulario de Consentimiento**

He sido invitado a participar en la investigación sobre impresión espacial de una fuente sonora por medio del ASW y LEV. Entiendo que debo dar mi percepción respecto a esto en un formato que se me entregó. He sido informado de que los riesgos son mínimos y sólo se debe tener precaución en el nivel del audio en los audífonos. Sé que puede que no haya grandes beneficios para mi persona. Se me ha proporcionado el nombre del investigador principal y que puede ser fácilmente contactado usando nombre y correo de ésta persona.

***He leído la información proporcionada o se me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera.***

**Nombre del participante:** \_\_\_\_\_

**Firma del participante:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

A continuación se presentan las definiciones del ASW y LEV:

**ASW:** En la audición musical, el ancho aparente de la fuente sonora (ASW) se asocia con la sensación de que el sonido que llega del escenario proviene de una fuente de mayor tamaño que la que corresponde a la orquesta real. Es la anchura auditiva aparente del campo sonoro, creado por una entidad interpretativa, percibida por un oyente dentro del área de audiencia de un salón de conciertos.

**LEV:** Parámetro que describe el nivel de involucramiento que tiene el oyente (de la sala). Es la impresión subjetiva de un oyente de que es envuelto por el campo sonoro, una condición que esta ante todo relacionada con la naturaleza y densidad

de las reflexiones laterales tardías. Este parámetro se encuentra relacionado con la cantidad de reflexiones que provienen de todas las partes de la sala.

## **ANEXO D.** Consentimiento informado utilizado para la segunda aplicación de la prueba

Este documento de Consentimiento Informado se dirige a estudiantes y profesores del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

**Nombre del investigador principal:** Ana María Quintero Peña

### **PARTE I: INFORMACIÓN**

#### **Introducción**

Yo soy estudiante de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Estoy realizando mi proyecto de grado el cual busca investigar acerca de los parámetros de impresión espacial que son el ancho aparente de la fuente (ASW) y el nivel de involucramiento (LEV).

#### **Selección de participantes**

Se invitó a los estudiantes y profesores de Ingeniería de sonido a hacer parte de éste experimento debido a que conocen los conceptos a evaluar y pueden dar un juicio respecto a la percepción requerida.

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria.

#### **Descripción del proceso**

Por favor lea detenidamente las siguientes instrucciones que son vitales para el desarrollo exitoso de la prueba que se ha de realizar a continuación. Si usted no entiende alguna de las instrucciones o conceptos, comuníquese con el encargado de la prueba para que le asesore.

1. Usted se encuentra sentado frente a un computador con audífonos en los cuales se le presentaran 3 muestras de video las que deberá ver y escuchar con mucha atención.
2. Junto con este documento se le entregara un formato de prueba.
3. El objetivo de esta prueba es que usted escuche y vea cada video y dé su percepción acerca de los parámetros de: ancho aparente de la fuente (ASW) y nivel de involucramiento (LEV) (De los cuales se explican los conceptos en la parte final de este documento). Podrá ver cada video las veces que necesite y una vez tenga su respuesta deberá llenar el formato y continuar con el siguiente video.
4. Una vez finalizada la prueba hable con el encargado quien le recibirá los documentos.

#### **Duración**

Entre videos, debe tomarse un tiempo de al menos 1 minutos. El tiempo máximo total de la prueba por persona es de 20 minutos.

### **PARTE II: Formulario de Consentimiento**

He sido invitado a participar en la investigación sobre impresión espacial de una fuente sonora por medio del ASW y LEV. Entiendo que debo dar mi percepción respecto a esto en un formato que se me entregó.

***He leído la información proporcionada o se me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera.***

**Nombre del participante:** \_\_\_\_\_

**Firma del participante:** \_\_\_\_\_

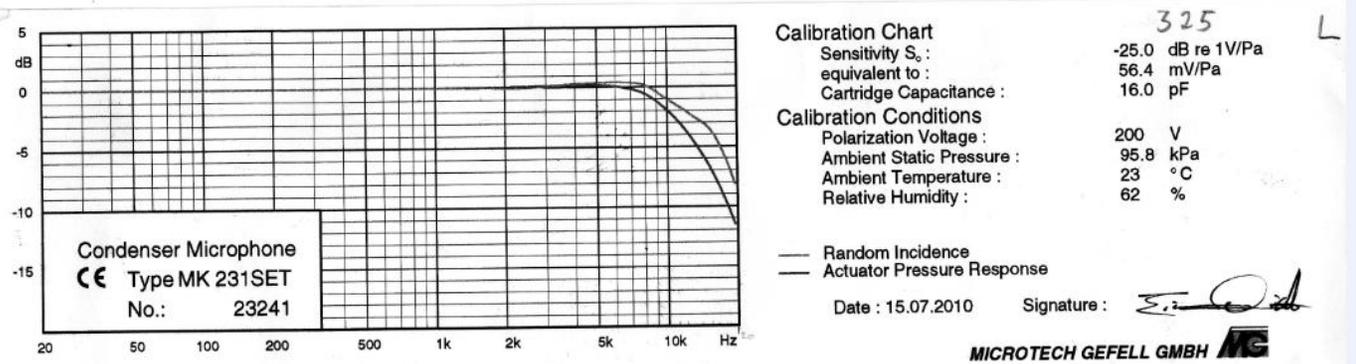
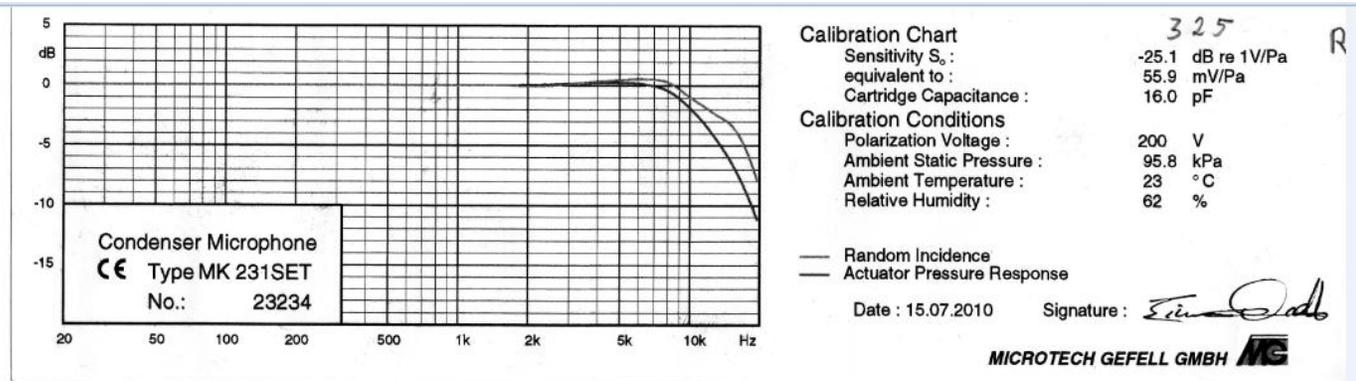
**Fecha:** \_\_\_\_\_

A continuación se presentan las definiciones del ASW y LEV:

**ASW:** En la audición musical, el ancho aparente de la fuente sonora (ASW) se asocia con la sensación de que el sonido que llega del escenario proviene de una fuente de mayor tamaño que la que corresponde a la orquesta real. Es la anchura auditiva aparente del campo sonoro, creado por una entidad interpretativa, percibida por un oyente dentro del área de audiencia de un salón de conciertos.

**LEV:** Parámetro que describe el nivel de involucramiento que tiene el oyente (de la sala). Es la impresión subjetiva de un oyente de que es envuelto por el campo sonoro, una condición que esta ante todo relacionada con la naturaleza y densidad de las reflexiones laterales tardías. Este parámetro se encuentra relacionado con la cantidad de reflexiones que provienen de todas las partes de la sala.

## ANEXO E. Especificaciones técnicas de los transductores de la cabeza binaural



ANEXO F. Tabla de valores críticos de F.

