



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN BUCLE INDUCTIVO PARA PERSONAS  
QUE UTILIZAN AUDÍFONOS O IMPLANTES COCLEARES EN LOS  
AUDITORIOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

AUTORES

Andrés Alejandro Báez Benavides

Diego Ignacio Montalvo Vargas

AÑO  
2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN BUCLE INDUCTIVO PARA PERSONAS  
QUE UTILIZAN AUDÍFONOS O IMPLANTES COCLEARES EN LOS  
AUDITORIOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingenieros de Sonido y Acústica

Profesor Guía

MSc. Juan Francisco Jiménez Pacheco

Autores

Andrés Alejandro Báez Benavides

Diego Ignacio Montalvo Vargas

Año

2019

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo, Diseño y evaluación de un bucle inductivo para personas que utilizan audífonos o implantes cocleares en los auditorios de la Universidad de La Américas, de Andrés Alejandro Báez Benavides y Diego Ignacio Montalvo Vargas a través de reuniones periódicas con los estudiantes, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Juan Francisco Jiménez Pacheco  
Máster Universitario en Postproducción Digital  
CI: 171734019-2

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, Diseño y evaluación de un bucle inductivo para personas que utilizan audífonos o implantes cocleares en los auditorios de la Universidad de La Américas, de Andrés Alejandro Báez Benavides y Diego Ignacio Montalvo Vargas, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Christiam Santiago Garzón Pico

Máster en Acústica Arquitectónica y Medio Ambiental

CI: 171364462-1

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

---

Andrés Alejandro Báez Benavides

CI: 172520719-3

---

Diego Ignacio Montalvo Vargas

CI: 1723342570

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por darnos las facultades para estudiar esta hermosa carrera, a nuestra familia que fue un pilar importante con su apoyo incondicional y a nuestros maestros por ser nuestra guía en todo nuestro proceso universitario.

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo dedicamos a nuestras familias por formar a las personas que somos, siguiendo su ejemplo de dedicación a las cosas que más les apasiona, dedicamos a nuestros amigos que nos apoyaron en el día a día y que no dejaron que nos demos por vencidos.

## RESUMEN

El presente trabajo se basa en diseñar y evaluar un sistema de bucle inductivo para personas que utilizan audífonos o implantes cocleares en los auditorios de la Universidad de Las Américas, se basó en las normas UNE-EN IEC 60118-4:2016/A1:2018 (Sistemas de bucles inductivos para audífonos, requisitos de funcionamiento del sistema) y la UNE-EN 62489-1 (Métodos de medida y especificación del funcionamiento de los componentes del sistema). Uno de los objetivos principales es diseñar el sistema electroacústico para que el bucle inductivo funcione de manera correcta con los equipos implementados en los distintos auditorios.

En la implementación del prototipo se obtuvo resultados satisfactorios ya que los resultados prácticos se asemejan mucho a la simulación teórica la cual no tiene pérdida por ruido magnético y por ende se obtenía buena inteligibilidad en la superficie del bucle. También se realizó diseños teóricos para los auditorios de Udlapark, Queri, Granados de la Universidad de Las Américas.

Por último, se realizó un análisis económico de la implementación del prototipo de cada uno de los auditorios estudiados, en este diseño se coloca los equipos convenientes para cada recinto y con sus respectivos accesorios.

Se decide realizar este proyecto con la finalidad de incluir a la comunidad de personas con discapacidad auditiva (usuarios de sistemas de asistencia auditiva) en las actividades con aglomeración de personas.



## **ABSTRACT**

The present work is based on designing and evaluating an inductive loop system for people who use hearing aids or cochlear implants in the auditoriums of the Universidad de Las Americas, based on the UNE-EN IEC 60118-4: 2016 / A1: 2018 standards (Inductive loop systems for hearing aids, system performance requirements) and UNE-EN 62489-1 (Measurement methods and specification of the operation of system components). One of the main objectives is to design the electroacoustic system so that the inductive loop works correctly with the equipment implemented in the different auditoriums.

In the implementation of the prototype satisfactory results were obtained since the practical results closely resemble the theoretical simulation the quality is not lost by magnetic noise and therefore good intelligibility is obtained on the surface of the loop. Theoretical designs were also made for the auditoriums of Udlapark, Queri, Granados of the Universidad de Las Americas.

Finally, an economic analysis of the prototype implementation of each of the auditoriums studied was carried out, in this design the suitable equipment for each enclosure and its accessory accessories are placed.

It is decided to carry out this project with the proposal to include the community of people with hearing impairment (users of hearing assistance systems) in the activities with agglomeration of people.

# ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
2. Marco teórico.....	3
2.1. Sistema auditivo humano.....	3
2.2. Anatomía del oído.....	3
2.2.1. Oído externo.....	4
2.2.2. Oído medio.....	5
2.2.3. Oído interno.....	6
2.3. Efectos del ruido en los seres humanos.....	8
2.4. Pérdida de audición.....	9
2.5. Ayudas técnicas para personas con discapacidad auditiva.....	10
2.5.1. Audífonos.....	10
2.5.2. Tipos de audífonos en la actualidad.....	13
2.5.3. Implantes cocleares.....	15
2.5.5. Ruido en el implante coclear.....	19
2.6. Bucles inductivos.....	19
2.6.1. Intensidad de campo magnético.....	21
2.6.2. Corriente necesaria.....	22
2.6.3. Impedancia del bucle.....	24
2.6.4. Control de campo.....	24

2.6.5.	Estándares y requisitos .....	25
2.6.6.	Propiedades de un bucle y de su campo magnético .....	26
2.6.7.	Respuesta direccional de la tele bobina de un audífono .....	29
2.6.8.	Suministro de corriente del bucle .....	30
2.6.9.	Unidades magnéticas.....	30
2.7.	Efectos del metal de la estructura del edificio sobre el campo magnético.....	31
2.8.	Efecto de la relación de aspecto del bucle sobre la intensidad del campo magnético.....	32
2.9.	Parámetros de amplificadores de bucle inductivo .....	35
2.9.1.	Impedancia nominal de la fuente.....	35
2.9.2.	Fuerza electromotriz de la fuente .....	35
2.9.3.	Carga nominal .....	35
2.9.4.	Corriente nominal de salida limitada por la temperatura .....	35
2.9.5.	Tiempo nominal para suministro de corriente nominal de salida limitada por distorsión.....	36
2.9.6.	Distorsión armónica nominal total de la corriente de salida .....	36
2.9.7.	Corriente de salida máxima (limitada por la distorsión).....	36
2.9.8.	Tensión disponible .....	36
2.9.9.	Ruido .....	37
2.9.10.	Intensidad de campo magnético.....	38
2.9.11.	Dimensiones del bucle .....	38

2.9.12. Respuesta en frecuencia.....	39
2.9.13. Control automático de ganancia.....	39
<b>3. Desarrollo .....</b>	<b>41</b>
3.1. Equipos .....	41
3.1.1. Amplificador.....	41
3.1.2. Cable.....	42
3.1.3. Micrófono.....	44
3.2. Diseño.....	45
3.2.1. Diseño para el prototipo de la sala de uso múltiple .....	45
3.2.2. Diseño teórico del auditorio Granados .....	52
3.2.3. Diseño teórico del auditorio Udlapark.....	57
3.2.4. Diseño teórico del auditorio Queri .....	62
<b>4. Análisis Económico .....</b>	<b>66</b>
<b>5. Resultados.....</b>	<b>68</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
6.1. Conclusiones.....	76
6.2. Recomendaciones .....	79
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección del sentido del oído con sus tres partes. ....	3
Figura 2. Características del pabellón auditivo que permiten la localización de la procedencia del sonido en el espacio 3D.....	4
Figura 3. Croquis del oído medio. ....	5
Figura 4. Oído interno; detalle simplificado .....	6
Figura 5. Células ciliadas internas y externas. ....	8
Figura 6. Curvas isofónicas. ....	9
Figura 7. Pérdida auditiva respecto a distintos niveles de ruido.....	10
Figura 8. Primeros audífonos. ....	11
Figura 9. Audífonos con micrófono de carbón.....	11
Figura 10. Audífonos con tecnología de tubos de vacío.....	12
Figura 11. Primeros audífonos de transistores.....	12
Figura 12. Audífonos digitales .....	13
Figura 13. Audífono intraauricular .....	13
Figura 14. Audífono retroauricular.....	14
Figura 15. Audífonos de canal auditivo. ....	15
Figura 16. Diagrama de bloques del implante coclear mono canal. ....	16
Figura 17. Formantes de la señal de voz. ....	17
Figura 18. Diagrama de bloques de $F_0/F_1/F_2$ .....	18
Figura 19. Diagrama de bloques del SMSP. ....	19
Figura 20. Principio de funcionamiento de un bucle inductivo.....	20
Figura 21. Variaciones de intensidad de campo: curvas de niveles de 2,5; 5 y 10 dB respecto al campo central. ....	21
Figura 22. División de bucles en lazos. ....	23
Figura 23. Medidor de campo magnético. ....	25
Figura 24. Vista en perspectiva de un bucle, mostrando líneas vectoriales del campo magnético. ....	26
Figura 25. Intensidades de los componentes del campo magnético debido a la corriente en un bucle horizontal rectangular en	

puntos en un plano por encima o debajo del plano del bucle.....	28
Figura 26. Respuesta direccional de una tele bobina de captación magnética.....	29
Figura 27. Patrón de campo magnético de un bucle sin efectos metálicos. ....	31
Figura 28. Patrón de campo magnético de un bucle bajo el efecto de estructuras metálicas.....	32
Figura 29. Variación de corriente requerida para producir una intensidad de campo específica en un punto, con las dimensiones y la relación de aspecto del bucle. ....	33
Figura 30. Plano de bucle cuadrado y rectangular. ....	34
Figura 31. Bucles cuadrado y rectangular. ....	34
Figura 32. Características típicas de entrada y salida en régimen permanente. ....	40
Figura 33. Amplificador UNIVOX PLS-X5. ....	42
Figura 34. Cable mono conductor. ....	43
Figura 35. Sala de usos múltiples (vista frontal).....	46
Figura 36. Sala de usos múltiples (vista posterior).....	46
Figura 37. Función de transferencia de control en la pérdida de metal en diseño perimetral horizontal y vertical. Caso A.....	49
Figura 38. Simulación del campo magnético de la sala. ....	50
Figura 39. Cadena electroacústica del sistema de bucle en la sala de uso múltiple. ....	51
Figura 40. Distribución de los equipos en la sala de usos múltiples.....	52
Figura 41. Auditorio Granados, vista posterior. ....	53
Figura 42. Auditorio Granados, vista frontal. ....	53
Figura 43. Pérdida de intensidad de campo magnético auditorio Granados.....	55
Figura 44. Cadena electroacústica, auditorio Granados. ....	56
Figura 45. Posiciones de cable y equipos del auditorio Granados.....	57
Figura 46. Auditorio Udlapark, vista posterior.....	57

Figura 47. Auditorio Udlapark, vista frontal .....	58
Figura 48. Posicionamiento del cable.....	60
Figura 49. Cadena electroacústica, auditorio Udlapark.....	61
Figura 50. Posición de cable y equipos en Udlapark.....	61
Figura 51. Auditorio Queri, vista frontal. ....	62
Figura 52. Posicionamiento del cable y nivel de campo magnético en la sala. ....	64
Figura 53. Cadena electroacústica, auditorio Queri .....	65
Figura 54. Posición del cable y equipos del auditorio Queri.....	65
Figura 55. Dimensiones y posición del cable, sala de usos múltiple. ....	69
Figura 56. Conexión cable y equipo, Sala de usos múltiple. ....	70
Figura 57. Posiciones de puntos de medición .....	71
Figura 58. Campo magnético simulación teórica vs caso práctico. ....	74
Figura 59. Hoja de medición de campo magnético. ....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de bucles típicos.....	39
Tabla 2. Características del cable plano.....	44
Tabla 3. Materiales sala de usos múltiples.....	47
Tabla 4. Materiales de Auditorio Granados.....	54
Tabla 5. Materiales del auditorio Udlapark.....	58
Tabla 6. Materiales del auditorio Queri.....	63
Tabla 7. Tabla de precios de la sala de uso múltiple.....	66
Tabla 8. Tabla de precios auditorio Granados.....	67
Tabla 9. Tabla de precios auditorio Udlaprk.....	68
Tabla 10. Tabla de precios del auditorio Queri.....	68
Tabla 11. Medición campo magnético.....	73
Tabla 12. Respuesta de frecuencia a 100 Hz, 1kHz y 5kHz.....	73



## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Existen varias causas por las cuales una persona puede perder exponencialmente la audición, las cuales se crean y desarrollan en nuestro entorno social como, por ejemplo, genéticas, complicaciones en el parto, infecciones crónicas del oído; generalmente todas estas causas son síntomas de una enfermedad denominada hipoacusia. Según el ECODES, una fundación de ecología y desarrollo del medio ambiente a partir de los 65 dB[A] comienza a surgir perturbaciones sintomáticas que causan daño al oído.

Los primitivos instrumentos que se utilizaron para mejorar la escucha fueron las trompetillas. Estos aparatos solo concentraban el sonido, si el problema era en el oído interno estos instrumentos eran inútiles.

Los primeros audífonos que poseen electro micrófono que se dieron a conocer en el año de 1880, que tengan en el centro de su diafragma un cordón, el otro lado estaba fijo a un pedazo de madera, en el cual, la persona con deficiencia auditiva cogía el pedazo de madera entre los dientes y la persona que quería conversar con él hablaba con el electro-micrófono, procurando tener tenso el cordón. Se pretendía que el paciente oyera los sonidos a través de la conducción ósea. (Torres B., 2015).

En 1937, año en el que Joseph Poliakoff gestionó una patente en el Reino Unido y desarrollo un sistema de asistencia auditiva que la llamó bobina telefónica, este aporte fue como realmente comenzó a desarrollarse la tecnología para los bucles inductivos. (Listen Technologies, 2013).

Los bucles magnéticos o bucles de inducción son un sistema de sonido que transforma la señal de audio a un campo magnético que capta el mismo con los aparatos que utilizan las personas con pérdida auditiva. Los pioneros sobre este tema fueron personas como Franklin, Faraday y Tesla que experimentaron

en sus épocas con campos electromagnéticos, el cual es el principio de funcionamiento de los bucles inductivos.

La bobina telefónica se diseñó para captar el campo magnético generado por una bobina de altavoz del auricular del teléfono, que después de un proceso se transforma nuevamente en una señal de audio. La ventaja para las personas con problemas de audición sólo captaba la señal de audio del teléfono y nada de la distorsión acústica, y hacía que la voz en los altavoces fuera más inteligible. El nombre de la bobina telefónica se abrevia al nombre "*Telecoil*" o "*T-Coil*".

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema electroacústico para los auditorios de la Universidad de Las Américas enfocado a personas con problemas auditivos que utilicen aparatos cocleares y audífonos mediante bucles inductivos aplicando las normas UNE-EN IEC 60118-4:2016/A1:2018 y UNE-EN 62489-1:2010.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Recopilar datos estructurales y acústicos de los auditorios de la Universidad de Las Américas.
- Realizar un estudio económico sobre el diseño, equipos, modelos y marcas para que el sistema funciones en óptimas condiciones.
- Diseñar un prototipo de sistema de bucle inductivo para la sala de usos múltiples de la Universidad de Las Américas sede Granados.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Sistema auditivo humano

Robert Bartí Domingo (2010, p.137) considera que: el oído es el órgano que nos ayuda a reconocer sonidos. El sentido del sistema auditivo no se puede desconectar voluntariamente, por lo que el oído siempre está en funcionamiento y es el órgano que nos alerta de los peligros que nos rodean.

Para el reconocimiento de una voz el aparato auditivo interpreta los cambios de presión, transformándolos en señales eléctricas, las cuales son decodificadas e interpretadas por el cerebro.

### 2.2. Anatomía del oído

El sistema auditivo es un órgano complejo dividido en tres partes: oído externo, oído medio, oído interno. Cada una de estas partes se encarga de una función específica, tales como: captar, transportar y transformar el sonido en impulsos al cerebro. En la figura 1, se puede observar una sección esquematizada del oído con todas sus partes.



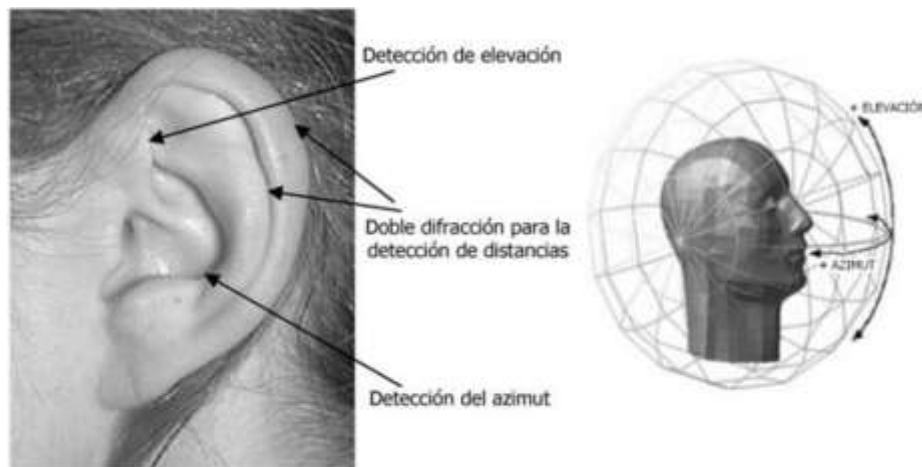
*Figura 1.* Sección del sentido del oído con sus tres partes.

Tomado de: Torres. E, 2016

### 2.2.1. Oído externo

El oído externo posee dos partes: el pabellón y el conducto auditivo. La función principal del pabellón auditivo es conocer la procedencia y localización de los sonidos que llegan al oído. Los pliegos del pabellón auditivo generan interferencias cuando las señales sonoras de los diferentes lugares, permitiendo múltiples reflexiones que alcanzan el tímpano.

Según Batteau (1967) “(...) los sonidos reflejados sobre el pabellón auditivo generan retardos del orden de unos 300  $\mu$ seg. A pesar de ser un tiempo extremadamente corto, son fácilmente detectables. Las frecuencias altas por encima de los 4 kHz son las más afectadas por este mecanismo. Por tanto, son las altas frecuencias las que en principio nos permiten localizar mejor la procedencia del sonido (...)”.



*Figura 2.* Características del pabellón auditivo que permiten la localización de la procedencia del sonido en el espacio 3D.

Tomado de: Bartí. R, 2010, p.15

La otra parte del oído externo es el canal auditivo, el cual suele tener una longitud de 2,3 cm; tapado por el extremo del tímpano y abierto por el extremo del pabellón auditivo.

Las paredes del canal auditivo están cubiertas de múltiples pelos y glándulas que desprenden cerumen, sustancia que cumple la función de atrapar polvo y

otros objetos evitando que lleguen hacia el tímpano, todo este recubrimiento da una cierta absorción al canal auditivo.

### 2.2.2. Oído medio

El sonido que llega al oído se transforma en vibración por un medio líquido que se encuentra dentro de la cóclea. La función principal del oído medio es la adaptación de impedancias entre la propagación del sonido que va por el aire y el medio líquido. Los huesecillos que se encuentran en cadena y el área oval del tímpano facilitan que estos dos medios de propagación se adapten.

Wever y Lawrence (1954) publicaron un trabajo en la revista “Physiological Acoustics” aquí demuestran que el oído trabaja de una forma lineal y también que la cóclea es el elemento que probablemente genera o es el causante de la no linealidad del oído. Helmholtz (1868) dice que el tímpano influye sobre el funcionamiento y efectividad del oído medio, con esta idea, la banda de frecuencias aplicada por el desplazamiento debe ser constante, por esta razón una banda de frecuencias mayor implicaría un menor desplazamiento.



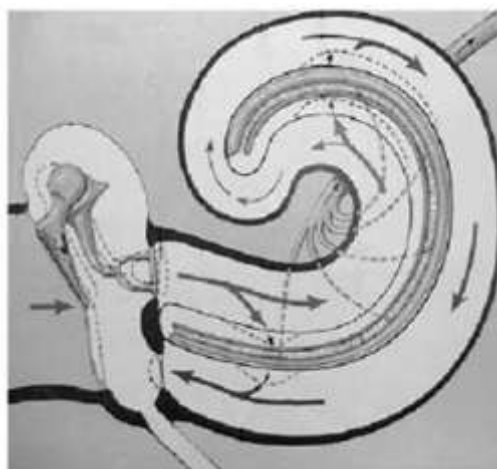
*Figura 3.* Croquis del oído medio.

Tomado de: Bartí. R, 2010, p13

En la figura 3, se puede observar la parte exterior del tímpano, la cual se comunica a través de la trompa de Eustaquio con el exterior del conducto nasal, logrando así igualar la presión del tímpano en ambos lados. El oído medio es un detector y transmisor mecánico de las vibraciones generadas por el aire, mediante la cadena de huesecillos se transmiten las vibraciones del tímpano hacia la cóclea en donde se generan impulsos nerviosos hacia el cerebro. Además, el tímpano funciona como transformador de impedancias para pasar de un medio gaseoso a un medio líquido.

### 2.2.3. Oído interno

El oído interno se centra en la cóclea. Es el encargado de transformar las vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos, los cuales son enviados al cerebro. La función de la cadena de huesecillos del oído es transmitir las vibraciones del tímpano hacia la membrana oval; las vibraciones y desplazamientos se transmiten sobre el líquido endolinfático que está situado dentro de la cóclea. En la figura 4 se puede observar un detalle del oído interno, el cual muestra un esquema de la cóclea, las líneas discontinuas muestran el desplazamiento en un instante determinado de la membrana basilar y la cadena de huesecillos por una señal sonora. El desplazamiento nos señala la variación de la posición de la membrana situada en la ventana oval generando sobrepresión dentro de la cóclea.



*Figura 4.* Oído interno; detalle simplificado

Tomado de: Bartí. R, 2010, p.14

La membrana basilar separa los dos conductos de la cóclea y además posee gran cantidad de células ciliadas; estas cuando se estimulan por un movimiento envían un impulso que tiene una duración y forma independiente del grado de estimulación. Cada célula ciliada se divide en dos ramificaciones que se dirigen hacia el nervio auditivo, estas transmiten los impulsos eléctricos del oído hacia el cerebro y de la misma manera del cerebro hacia las células ciliadas.

En la figura 4 se puede observar un detalle del oído interno, el cual muestra un esquema de la cóclea, las líneas discontinuas muestran el desplazamiento en un instante determinado de la membrana basilar y la cadena de huesecillos por una señal sonora. El desplazamiento nos señala la variación de la posición de la membrana situada en la ventana oval generando sobrepresión dentro de la cóclea.

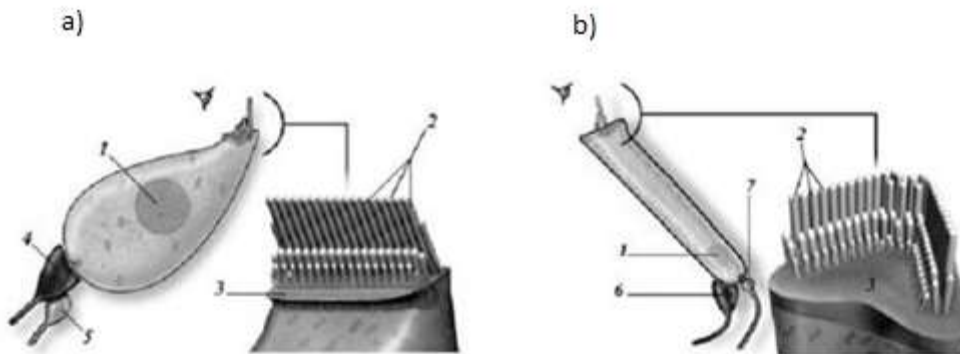
Existen las células ciliadas que cubren toda la superficie del tejido. Existen dos tipos de células ciliadas, las interiores (CCI) y las exteriores (CCE). Las CCI son las que dan la información sonora al cerebro y el ser humano posee alrededor de 3500 células interiores.

Las CCE están encargadas de permitir al sentido auditivo escuchar por debajo de los 60 dB, las CCE actúan como amplificadores de sonido por debajo de la sensibilidad auditiva, existen alrededor de 12500 células exteriores.

El nervio auditivo está formado por miles de fibras nerviosas que están asociadas a una célula. Las células de alta frecuencia se sitúan en la parte interior del nervio auditivo, para que estén protegidas de padecer un neuroma acústico; en la parte exterior se encuentran las células de baja frecuencia ya que son más numerosas y no resulta tan crítico para el oído perder información en estas frecuencias.

Todas las células mencionadas se comunican con el cerebro por la dendrita, que es una terminación nerviosa. Existen dos caminos de comunicación: la vía aferente y la vía eferente, la vía aferente envía impulsos eléctricos hacia el cerebro y la vía eferente con las células ciliadas recibe información del cerebro;

en otras palabras, la primera vía envía información al cerebro y la segunda permite al cerebro reagrupar las células ciliadas en función de la señal sonora que se va a decodificar. En la figura 5 se puede observar que constan las CCI y las CCE.



*Figura 5. Células ciliadas internas y externas.*

Tomado de: Remy Pujol, 2010, p.10

a) Células ciliadas internas

b) Células ciliadas externas

### 2.3. Efectos del ruido en los seres humanos

El oído humano es un sensor sofisticado de sonido, pero sufre un deterioro de su sistema por la exposición prolongada al ruido. Es importante conocer los efectos del ruido en el cuerpo humano y entender el mecanismo de audición y sus pérdidas.

El nivel de presión acústica se expresa como la presión cuadrática media en Newtons por metro cuadrado y por lo general se da en decibelios en relación con el umbral de audición a 1 kHz.

En la figura 6 se puede visualizar la variación de umbral de audición con la frecuencia y los contornos de audibilidad; cabe mencionar que la banda de frecuencias audible va desde 20 Hz hasta 20 kHz, este rango de frecuencia es donde el oído aún es sensible.



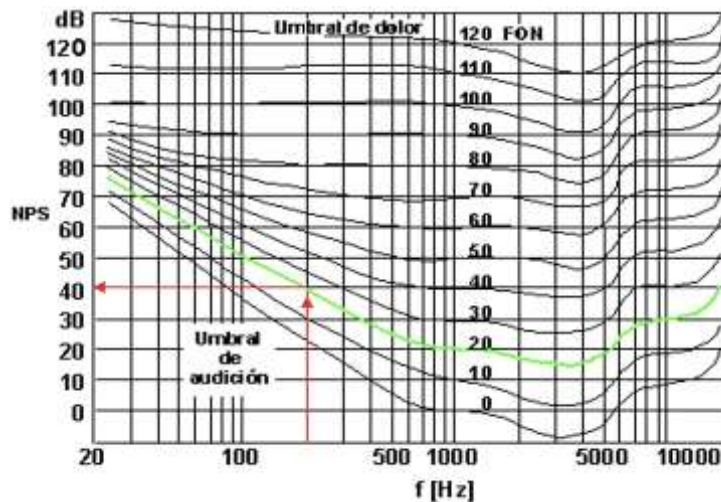


Figura 6. Curvas isofónicas.

Tomado de: Paul. J, 2016

#### 2.4. Pérdida de audición

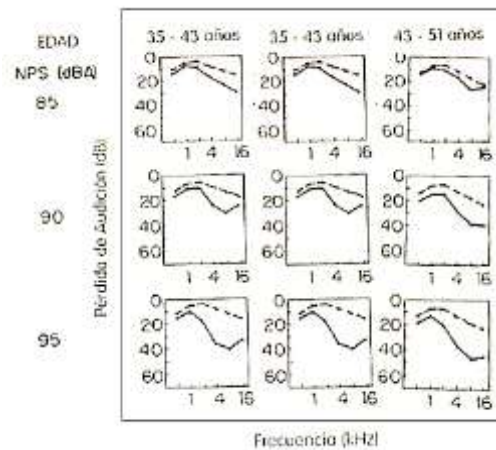
Existen varios tipos de pérdida de audición, las causas más comunes son: la exposición a niveles de ruido elevados y el envejecimiento.

Estar expuesto por un tiempo prolongado a niveles de ruido elevados daña las células de la cóclea apareciendo efectos fisiológicos, uno de los principales es la pérdida de audición temporal en la banda de 4 a 6 kHz. Si la exposición se repite antes de que el umbral se haya recuperado, esta pérdida temporal puede volverse permanente afectando a frecuencias por encima y por debajo del rango antes mencionado.

El ruido a grandes niveles causa que la membrana basilar comience a vibrar y provoque cortes en las células que posteriormente tanto las células pilares como las fibras nerviosas que distorsionen.

Otro tipo de pérdida auditiva es causada por el envejecimiento de las personas y afecta específicamente en las altas frecuencias.

En la figura 7 se puede apreciar cómo afecta la pérdida auditiva en diferentes edades, que va desde 18 a 51 años. En las gráficas se muestran el distinto comportamiento del oído respecto a distintos niveles de ruido.



*Figura 7. Pérdida auditiva respecto a distintos niveles de ruido*

Tomado de: Gerges. S, 1992, p.30

## 2.5. Ayudas técnicas para personas con discapacidad auditiva

Durante los años se han desarrollado diversos equipos que ayudan a personas que sufren de pérdida auditiva a poder captar de mejor manera las ondas y fuentes sonoras que se emiten en el entorno.

Según (Zernotti, 2011, p.12), la teoría sobre estos aparatos técnicos se viene dando desde los años de 1600, con el matemático francés Jean Leurechon, quien fue el diseñador de dispositivos destinados a los problemas auditivos, además, con la teoría del físico italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta sobre la estimulación eléctrica del oído, en el año 1790.

### 2.5.1. Audífonos

El origen de estos aparatos se dio a partir del siglo XVII por Jean Leurechon, el cual diseñó unos artefactos rudimentarios que tomaban la forma de una trompeta de oído. Estaban diseñados de distintas formas y tamaños dependiendo del grado de afección que tenía el oído. El funcionamiento era

capturar el sonido y luego amplificarlo, era práctico para personas que poseían una sordera leve.



*Figura 8.* Primeros audífonos.

Tomado de: Esteban, 2017.

Entre 1900 a 1920, se diseñaron los primeros audífonos eléctricos para personas con problemas auditivos, los cuales se basaron en los micrófonos de carbón creados por Thomas Alva Edison y Emile Berliner. Gracias a las propiedades de modulación de corriente este micrófono podía reproducir sonidos captados del entorno, ya que poseía un diafragma. Estos aparatos tenían defectos, debido a que solo eran útiles para personas con daño leve y producía un ruido por el funcionamiento mecánico del choque del carbón contra el diafragma.



*Figura 9.* Audífonos con micrófono de carbón.

Tomado de: Esteban, 2017.

En las épocas de 1920 a 1940 se diseñaron audífonos que ayudaban a personas con pérdidas auditivas severas, gracias a la tecnología denominada

tubos de vacío. El problema de estos aparatos es que necesitaban dos fuentes de potencia y para la época tenían un costo excesivo.



*Figura 10.* Audífonos con tecnología de tubos de vacío  
Tomado de: Esteban, 2017.

En los años de 1950 a 1980, se crearon los audífonos de transistores, los cuales eran portátiles, se los colocaba detrás de la oreja. Funcionaban amplificando de una manera muy efectiva los sonidos, pero no se podía filtrar los ruidos del entorno



*Figura 11.* Primeros audífonos de transistores  
Tomado de: Esteban, 2017.

Después de los años ochenta, se diseñaron los sistemas auditivos digitales, los cuales mejoran el sonido ya que poseían un filtro para ruidos ambientales.



*Figura 12.* Audífonos digitales

Tomado de: Esteban, 2017

## 2.5.2. Tipos de audífonos en la actualidad

Los grandes avances en la tecnología y la medicina han hecho que surjan diversos tipos de prótesis. Cada tipo de audífono está diseñado para una necesidad específica.

### 2.5.2.1. Audífonos intrauriculares

Estos audífonos se colocan en el oído externo y se usan cuando se tiene pérdida de audición leve. Algunos audífonos poseen accesorios como el sistema de bobina telefónica, el cual es una bobina magnética que recibe señales a través del circuito del audífono y también permite a que los usuarios escuchen mejor mediante bucles inductivos.



*Figura 13.* Audífono intrauricular

Tomado de: Más audio, s.f.

### 2.5.2.2. Audífonos retroauriculares

Este tipo de audífono es usado por personas que tienen pérdida auditiva leve y grave, se coloca detrás de la oreja y se conecta a un molde de plástico que va en el oído externo. Una variación de estos son los de adaptación abierta, los cuales se deben insertar un tubo estrecho dentro del canal auditivo. Estos aparatos ayudan a personas que sufren de acumulación de cera en el oído.



*Figura 14.* Audífono retroauricular.

Tomado de: Más audio, s.f.

### 2.5.2.3. Audífonos de canal auditivo

Estos aparatos se insertan dentro del oído humano se hacen a la medida y forma del canal auditivo los cuales están ocultos en el canal auditivo. Los audífonos son usados por personas que sufren de pérdida auditiva leve y severa, son difíciles de ajustar y no poseen bobina telefónica, además que su tamaño limita la potencia y el volumen.



*Figura 15.* Audífonos de canal auditivo.

Tomado de: Centro auditivo Cuenca, 2017

### **2.5.3. Implantes cocleares**

(Browarsky, 2005, pp.1-5) El implante coclear es una prótesis electrónica que utilizan personas con sordera severa y profunda que ayuda la percepción auditiva, estimulando las neuronas aferentes y así obteniendo la sensación del sonido. Este artefacto se sitúa en la cóclea, la cual facilita la fijación en este hueso temporal y estimula dichas neuronas.

El primer implante coclear se realizó en 1957 y se basó en las investigaciones del francés André Djourno. Consistía en la inserción de electrodos de la zona coclear. En 1979 se crea el primer implante coclear en Latinoamérica y este era de un solo electrodo que permitía la lectura de labios y percepción de ruidos.

En 1989, se desarrolla el primer implante multicanal, permitía que las personas comprendieran palabras sin necesidad de leer los labios.

#### **2.5.3.1. Mono canales**

Los aparatos cocleares mono canales proporcionan estimulación en un punto y utilizan un electrodo, en la figura 16 se puede observar la idea básica de estos dispositivos.

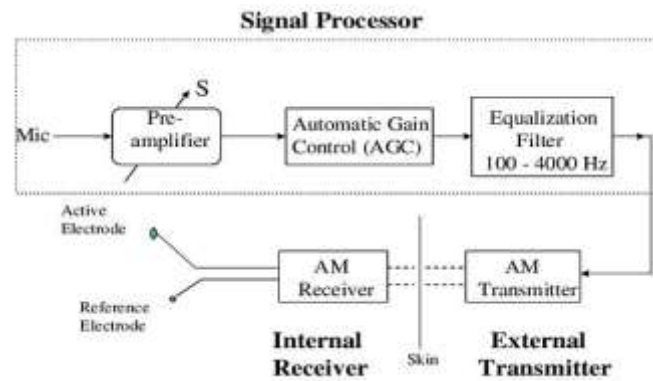


Figura 16. Diagrama de bloques del implante coclear mono canal.

Tomado de: Browarsky. D, Martín. M, 2005, p.2

La señal es pre amplificada y pasa por el control de ganancia automático (AGC), y la señal va acorde al rango audible de cada persona. Después la señal pasa por un filtro, que atenúa las frecuencias que están fuera del rango de 100 Hz a 4 kHz. Por último, la señal es modulada en amplitud y se transmite al receptor que se implantó, y este demodula la señal estimulando el electrodo.

### 2.5.3.2. Multicanales

Los implantes cocleares multicanales estimulan varios nervios aferentes, los electrodos que llevan información de altas frecuencias deben colocarse cerca de la cóclea y los electrodos que llevan información de baja frecuencia deben colocarse cerca del ápex.

Una cuarta parte de los electrodos generan distorsiones por las interferencias de los campos eléctricos que producen, ya que la separación entre los electrodos es mínima por el tamaño de la cóclea. Por esta razón existe dos comportamientos para los implantes cocleares multicanales.

- Analógico-Comprimida (CA): la señal es comprimida por AGC y pasa por cuatro filtros pasa banda de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 3,4 kHz. Después de los filtros la señal es amplificada para lograr una buena ecualización; luego cada señal es utilizada para estimular los electrodos.



- Muestreo continuo intercalado (CIS): para que no exista distorsión entre los electrodos se realiza una estimulación secuencial a una velocidad diferente, de esta forma los electrodos no interfieren unos con otros. La señal que estimula a cada uno es la misma que sale de los filtros.

#### 2.5.4. Técnicas de procesamiento de las señales usadas

El concepto de formante de la señal de voz; se trata de la frecuencia fundamental de la señal de voz que se recibe. En la figura 17 se observa la señal de voz en el dominio de tiempo y frecuencias, y se identifica cada formante como los máximos puntos de la envolvente.

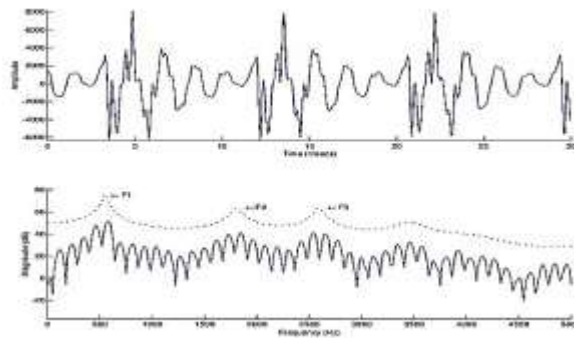


Figura 17. Formantes de la señal de voz.

Tomado de: Browarsky.D, Martín. M, 2005, p.3

Existen algunas técnicas de procesamiento de las señales que se usan en los dispositivos multicanales y se explicarán a continuación.

##### 2.5.4.1. Estrategia $F_0/F_2$

Para obtener las frecuencias se analiza mediante un filtro paso bajo de 270 Hz y un filtro paso banda de 1 kHz a 4 kHz respectivamente; y la amplitud de ambos formantes se obtiene con un detector de envolvente en la salida de cada filtro.

Se estimula el electrodo del dispositivo respecto a la frecuencia  $F_2$  y también se estimulará respecto al más cercano de la base de la cóclea  $F_0$ .

### 2.5.4.2. Estrategia $F_0/F_1/F_2$

Se implementó en 1985 y es una variación de la estrategia  $F_0/F_2$  ya que aumenta un filtro pasa banda en las frecuencias de 280 Hz a 1 kHz, y un analizador de frecuencia que cruce por 0. La frecuencia  $F_1$  estimulará los 5 electrodos que están más cerca del ápex. En la figura 18 se puede apreciar el diagrama de bloques de esta estrategia.

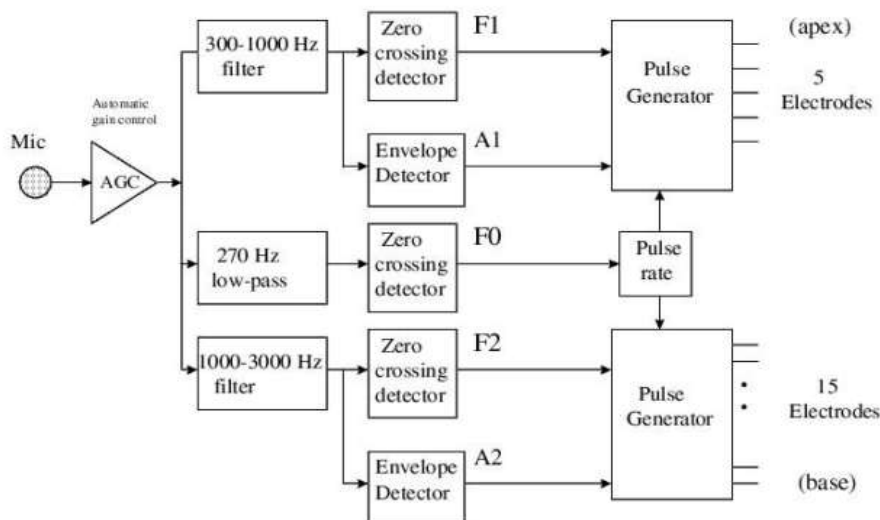


Figura 18. Diagrama de bloques de  $F_0/F_1/F_2$ .

Tomado de: Browarsky.D, Martín. M, 2005, p.3

### 2.5.4.3. Estrategia MPEAK

Este agrega otros electrodos para altas frecuencias, que antes eran estimuladas por un electrodo. También se agregan filtros pasa bandas de 2 – 2,8 kHz, 2,8 - 4 kHz y de 4 - 6 kHz.

### 2.5.4.4. Estrategia SMSP (Spectral Maxima Sound Processor)

Fue desarrollada en 1990 y consta de una serie de 16 filtros pasa bandas y con un analizador de envolvente. Posee 6 salidas que tienen mayor amplitud y estas son las seleccionadas para estimular los electrodos. En la figura 19 se puede observar un diagrama de bloques de SMSP.

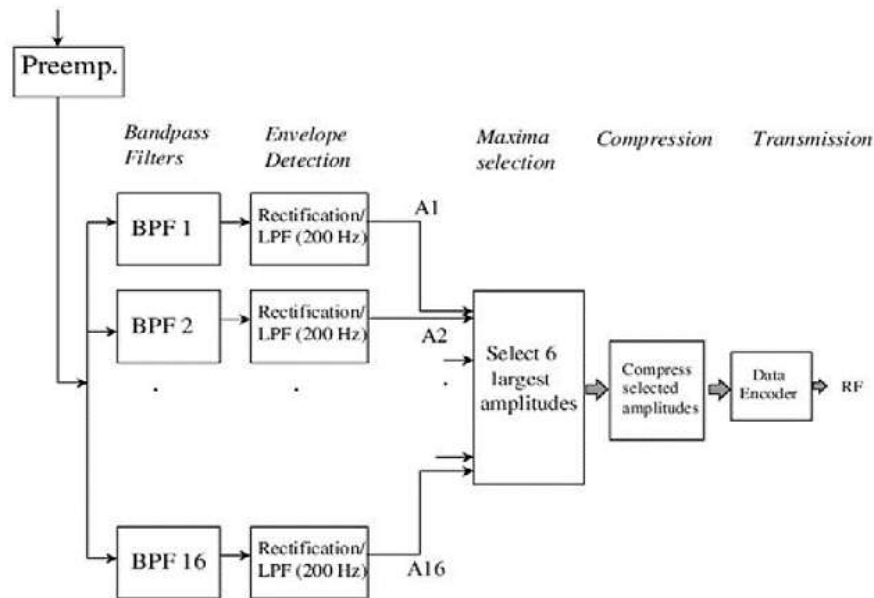


Figura 19. Diagrama de bloques del SMSP.

Tomado de: Browarsky.D, Martín. M, 2005, p.4

#### 2.5.4.5. Estrategia SPEAK (Spectral SPEAK)

Es una mejora de MPEAK y SMSP. SPEAK posee una serie de 20 filtros pasa bandas en las frecuencias que van de 250 Hz a 10 kHz. El procesador verifica cada salida de los filtros y decide que electrodos estimular.

#### 2.5.5. Ruido en el implante coclear

Por todos los equipos de comunicación que posee el implante coclear se genera ruido térmico; además de que se filtra el ruido ambiente del entorno por lo que la inteligibilidad de la voz disminuye mucho.

Existen varias soluciones, la más utilizada son filtros digitales los cuales ayudan a minimizar el ruido ambiental y así obtener una buena inteligibilidad.

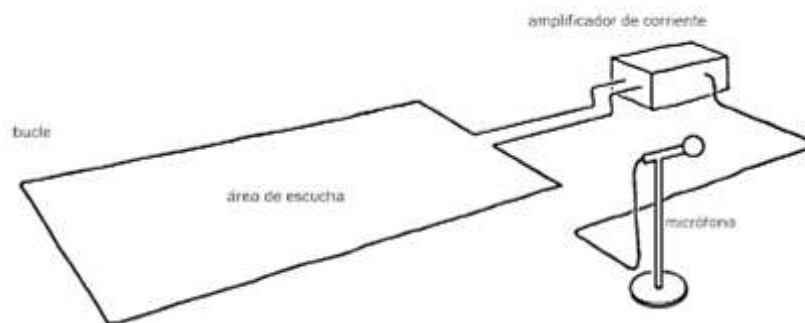
#### 2.6. Bucles inductivos

Son sistemas que permiten la transferencia de señales de información por medio de campos electromagnéticos. Estos métodos se realizan para ayudar a

las personas que utilizan audífonos o aparatos cocleares, siempre y cuando posean bobina telefónica o inductiva de los audífonos e implantes.

(Voetmann, 2013, p.279) Los bucles se crean debido al ruido de fondo e interferencias que poseían los portadores de audífonos, se comenzó a implementar en salas de conferencias, iglesias y teatros. Estos usuarios de audífonos es difícil diferenciar la conversación del ruido de fondo.

El bucle inductivo se basa en la teoría de campo magnético, que se genera alrededor de un cable mono conductor por donde circula la corriente. En la figura 20 se puede observar el funcionamiento, donde el tamaño del campo magnético depende de la intensidad de la corriente.



*Figura 20.* Principio de funcionamiento de un bucle inductivo.

Tomado de: Brixen, Bogh. E, Voetmann. J, 2013, p.205

El bucle inductivo necesita una fuente de alimentación, para esto se utiliza un amplificador de corriente, el cual recibe una variación de voltaje y la transforma en una variación de corriente para que todo el sistema se pueda alimentar. El comportamiento del bucle se asemeja a una bobina con una o dos vueltas dependiendo del volumen que se quiera tener de campo magnético.

Una de las características que se toma muy en cuenta es la impedancia de la bobina ya que va aumentando a medida que incrementa la frecuencia, pero el campo magnético del bucle inductivo debe ser constante, independientemente de la frecuencia.

Para que la bobina telefónica del audífono pueda recibir una correcta respuesta en frecuencia, el amplificador trata de mantener una corriente constante en el campo magnético sin que interfiera la impedancia del bucle.

### 2.6.1. Intensidad de campo magnético

La intensidad de campo se la interpreta con una “H” y su magnitud es Amperios/metros (A/m). Se puede calcular la intensidad de campo en un punto determinado y se debe partir de algunas consideraciones simples. En la figura 21 se puede observar las variaciones de intensidad de campo en el bucle magnético.

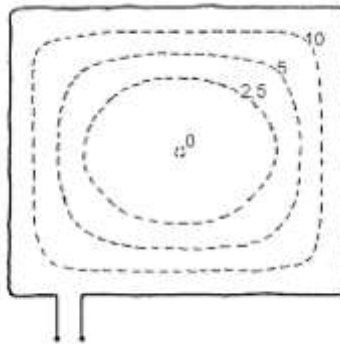


Figura 21. Variaciones de intensidad de campo: curvas de niveles de 2,5; 5 y 10 dB respecto al campo central.

Tomado de: Brixen, Bogh. E, Voetmann. J, 2013, p.206

Los bucles se diseñan para que la zona más débil del campo sea potente para proporcionar una señal suficiente a la del audífono. El área más débil para todos los bucles es la parte central, ya que en esta zona se debe tener un nivel de 80 a 100 mA/m. Para calcular la intensidad de un bucle inductivo circular se debe seguir la siguiente fórmula:

$$H_{Cir} = \frac{I \cdot n}{d} [A/m]$$

Ecuación 1. Cálculo de intensidad de campo de un bucle circular.

Dónde:

$H_{Cir}$  = Intensidad del campo.

$I$  = Corriente en el bucle [A].

$n$  = Número de vueltas (depende de la dimensión entre una o dos vueltas).

$d$  = Diámetro del bucle [m].

Para calcular la intensidad de campo en un bucle rectangular se debe seguir la siguiente fórmula:

$$H_{Rec} = \frac{0,64 \cdot D \cdot I \cdot n}{S} \text{ [A/m]}$$

Ecuación 2. Cálculo de intensidad de campo bucle rectangular.

Dónde:

$H_{Rec}$  = Intensidad de campo

$D$  = Diagonal del recinto [m]

$I$  = Corriente en el bucle [A]

$S$  = Superficie del recinto [ $m^2$ ]

### 2.6.2. Corriente necesaria

Para lograr alcanzar una intensidad de 100 mA/m en el centro de bucle se debe calcular la corriente con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{0,156 \cdot S}{D \cdot n} \text{ [A]}$$

Ecuación 3. Cálculo de corriente.

Para que un bucle inductivo cubra un volumen muy grande y este tenga variaciones de intensidad del campo, dentro del alcance del bucle; puede dividirse este sistema en lazos que van alrededor de todo el volumen del

sistema; en el caso que un volumen sea demasiado grande un solo amplificador no podrá alimentar todo el volumen con su potencia, se debe realizar una configuración de bucle con varios lazos conectados hacia el amplificador, para que la intensidad de campo no se disipe y se mantenga constante alrededor de todo el sistema de bucle. El bucle se debe dividir en lazos siempre que el lado más corto supere los diecisiete metros.

Los tramos donde los bucles inductivos son adyacentes, la corriente debe seguir un mismo sentido, para que los campos magnéticos no se cancelen entre sí. También se debe tomar en cuenta que los bucles inductivos se verán afectados en pérdida de agudos o disminución de la intensidad del campo, si existe concentración de hierro en el recinto donde se está implementando el sistema. Además, la pérdida de intensidad se produce por el aumento de la resistencia ya que la resistencia aumenta mientras aumenta la frecuencia. A continuación, se puede observar la figura 22 el sentido que toma la corriente, este sentido de la corriente debe ser el mismo para las líneas adyacentes.

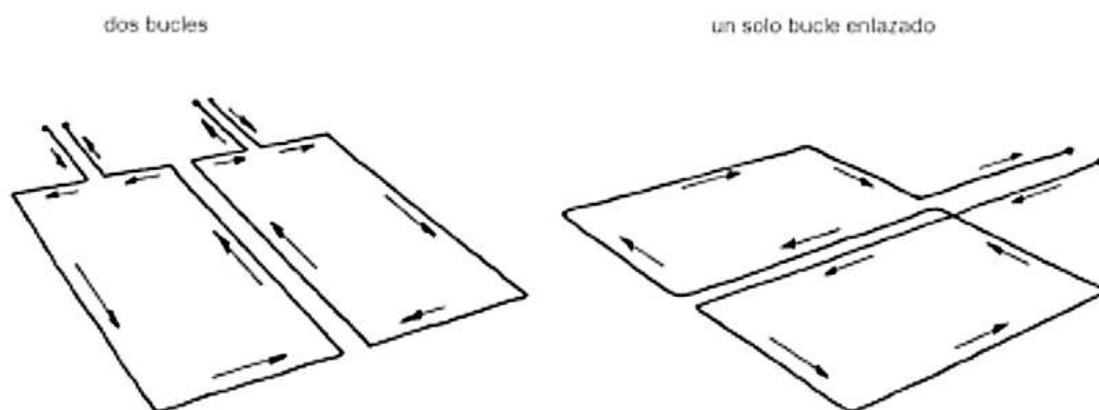


Figura 22. División de bucles en lazos.

Tomado de: Brixen, Eddy Bogh y Jan Voetmann, 2013

### 2.6.3. Impedancia del bucle

La impedancia de bucle inductivo está entre 0,8 y 1,5  $\Omega$ . La sección del cable conductor de cobre y la inductancia es crucial para la magnitud de la impedancia.

El área de sección transversal del conductor se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$q = \frac{0,01725 \cdot l \cdot n}{r} [mm^2]$$

Ecuación 4. Cálculo de sección del cable.

Dónde:

$q$  = Sección del cable [ $mm^2$ ].

$l$  = Perímetro de bucle [ $m$ ].

$n$  = número de vueltas.

$r$  = resistencia del bucle [ $\Omega$ ].

Cabe mencionar que con un área menor a 20  $m^2$  de un bucle inductivo, se utilizan dos vueltas de cable para que la resistencia mínima sea de 0,8  $\Omega$ .

### 2.6.4. Control de campo

Para poder controlar el bucle inductivo se debe indicar a las personas que se encuentran dentro del bucle, que hablen a un volumen normal (65 dB a 1 metro aproximadamente) frente a un micrófono que se conecta en la cadena electroacústica, la persona que habla no deberá gritar ni mucho menos susurrar. Se debe comprobar que la intensidad de campo magnético sea satisfactoria (100 mA/m a 3 dB) en la zona de cobertura y se debe medir a 1,2 metros sobre el suelo.

Además, se debe realizar un estudio previo de que ningún equipo debe producir un campo electromagnético a excepción del bucle inductivo, como



sistemas de iluminación, transformadores. Para que el conjunto funcione de una manera correcta se debe medir el nivel de ruido que produce el campo magnético, para adquirir estos datos se debe utilizar aparatos de medición que posea la ponderación A. En la figura 23 un medidor de campo electromagnético el cual posee la opción de conectar auriculares externos con lectura mediante diodos LED.



Figura 23. Medidor de campo magnético.

Tomado de: Ampetronic, s.f.

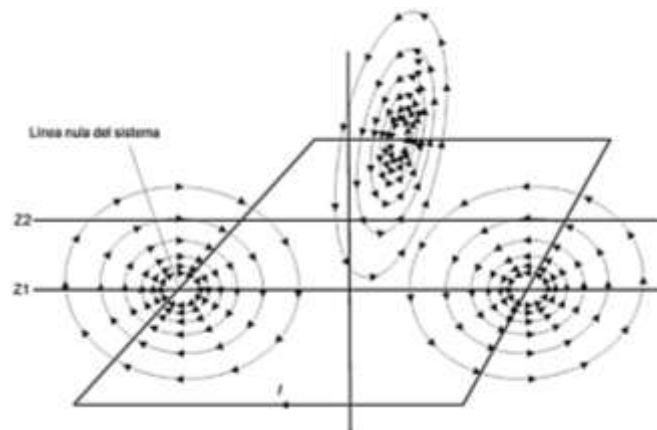
### 2.6.5. Estándares y requisitos

El estándar que se utiliza para el diseño de bucles inductivos se rige a la norma DS/IEC 60118-4: Intensidad del campo magnético en bucles inductivos de audiofrecuencia.

Esta norma recomienda que la intensidad del campo magnético debe ser de 100 mA/m 3 dB a 1 kHz, el sistema debe aguantar una intensidad máxima de 400 mA/m por un período de 125 ms. (100 mA/m 12 dB) y la respuesta en frecuencia debe ser desde 100 Hz hasta 5 kHz.

### 2.6.6. Propiedades de un bucle y de su campo magnético

Si se observa la figura 24, se puede analizar una representación diagramática de los vectores magnéticos; estos siguen la dirección de una circunferencia, y por esta razón se crean los componentes verticales y horizontales, para que el bucle se pueda colocar en dirección opuesta si es posible de los vectores magnéticos. Existe una gran diferencia de la intensidad de campo magnético en el espacio.



*Figura 24.* Vista en perspectiva de un bucle, mostrando líneas vectoriales del campo magnético.

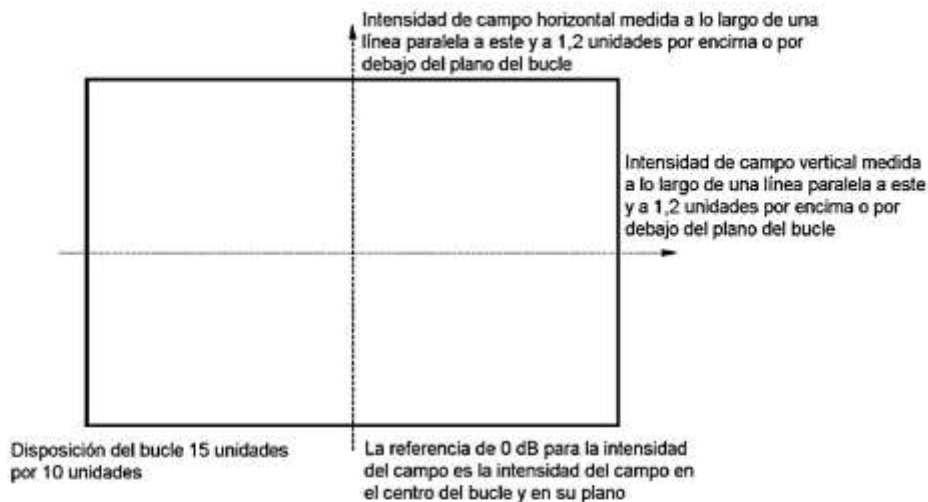
Tomado de: UNE-EN ISO 60118-4, 2018, p.5

En la longitud de Z1, que se encuentra en el plano del bucle, la intensidad llega a un valor muy alto cuando está cerca del cable. En la línea Z2 se observa un desplazamiento desde el plano del bucle, para que la distribución del campo magnético sea más aceptable. En esta figura se observa una sección donde nos indica la línea nula del sistema, la cual muestra los puntos donde la componente vertical del campo magnético es cero, ya que se encuentra fuera del perímetro del bucle.

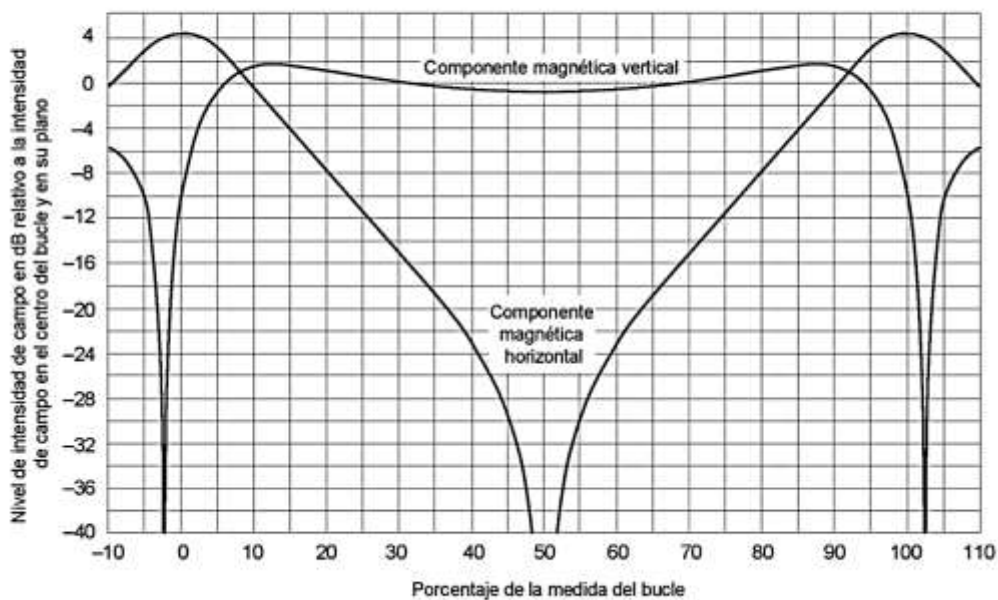
Para las personas portadoras de los aparatos de asistencia auditiva que se encuentra de pie o sentados, los ejes de la tele bobina se encuentran generalmente verticales, por lo tanto, reaccionan a la componente vertical del campo magnético. Sin embargo, existen recintos, donde los ejes de la tele

bobina se pueden situar de manera horizontal o a un ángulo intermedio, de modo que la componente relevante del campo magnético es importante.

La intensidad de campo magnético vertical es más uniforme dentro del área que se proyecta en un bucle rectangular, se debe tomar en cuenta que la razón entre la longitud y la anchura del recinto no sea muy grande; la razón de la longitud debe ser de 0,12 a 0,16 veces el ancho del bucle. En la figura 25 se puede apreciar la distribución de la componente vertical a través de un bucle en función de la posición y de la elevación de la posición de escucha. Se calculó para un bucle 1,5 veces más largo que ancho, esta figura muestra también que se puede utilizar un espacio mayor de la posición de escucha desde el plano del bucle.



a) Geometría del bucle y posiciones de medición del patrón de campo mostrado en b)



b) Patrones de las componentes vertical y horizontal

*Figura 25.* Intensidades de los componentes del campo magnético debido a la corriente en un bucle horizontal rectangular en puntos en un plano por encima o debajo del plano del bucle.

Tomado de: UNE- EN ISO 60118-4, 2018, p.7

### 2.6.7. Respuesta direccional de la tele bobina de un audífono

La tele bobina de un audífono se puede ver afectada por las partes metálicas de su propio dispositivo, es por esto por lo que la respuesta teórica de la tele bobina sigue una ley de coseno; lo que significa que la respuesta se reduce en 3 dB para un ángulo de  $45^\circ$  respecto al eje magnético, y con la angulación de  $70^\circ$  se reduce 9,3 dB. En la figura 26 se puede observar cómo es la respuesta direccional de la tele bobina del audífono en escala lineal y escala de amplitud.

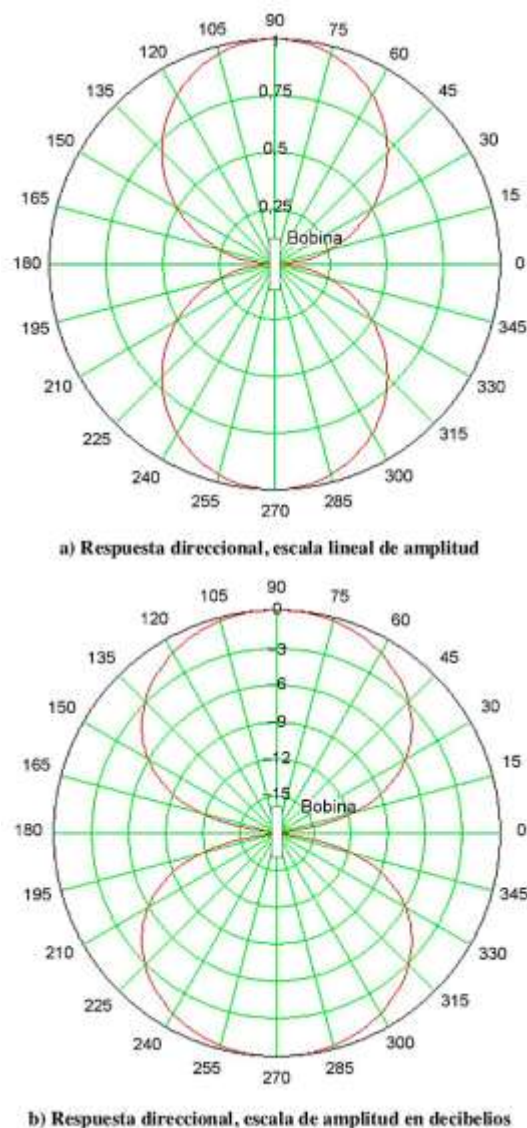


Figura 26. Respuesta direccional de una tele bobina de captación magnética.

Tomado de: UNE- EN ISO 60118-4, 2018, p.30

### 2.6.8. Suministro de corriente del bucle

El bucle posee resistencia e inductancia que se calcula con exactitud para el diseño; la resistencia e inductancia son proporcionales al perímetro del bucle. La resistencia depende del número de vueltas que posee el bucle y la inductancia es proporcional al cuadrado del número de vueltas.

Para calcular la resistencia del bucle se debe seguir la siguiente fórmula:

$$R = \frac{4 p d}{a} [\Omega]$$

Ecuación 5. Resistencia de un bucle.

Dónde:

$d$  = Lado de una sola vuelta (m)

$a$  = área del conductor (m<sup>2</sup>)

$p$  = resistividad ( $\Omega$  m)

Para calcular la inductancia  $L$  para un bucle de más de un metro cuadrado de área se utiliza la siguiente fórmula, cabe mencionar que, si existe material magnetizable cerca del bucle, la inductancia puede variar.

$$L = 8 d [\mu H]$$

Ecuación 6. Inductancia de un bucle.

### 2.6.9. Unidades magnéticas

La intensidad de campo magnético es proporcional a la corriente para bucles circulares y rectangulares. Además, es inversamente proporcional al perímetro del circuito generado en el circuito. Cabe mencionar que, si el circuito es un bucle multi-vuelta, la intensidad de campo magnético se debe multiplicar por el número de vueltas.

## 2.7. Efectos del metal de la estructura del edificio sobre el campo magnético

El campo magnético que se genera por el bucle induce corriente en las estructuras metálicas del edificio. Estas corrientes modifican el patrón de intensidad magnética del recinto independientemente de la frecuencia. La corriente de metal que fluye en un recinto reduce la intensidad de campo del bucle dentro del perímetro.

El acoplamiento entre bucle se da por inductancia mutua y esto hace que la reducción aumenta mientras aumenta la frecuencia. Este efecto se puede captar de mejor manera si la estructura metálica se sitúa próximo al conductor de bucle. En la figura 27 se puede observar el patrón de campo magnético de un sistema de bucle sin interferencia metálica en las proximidades.

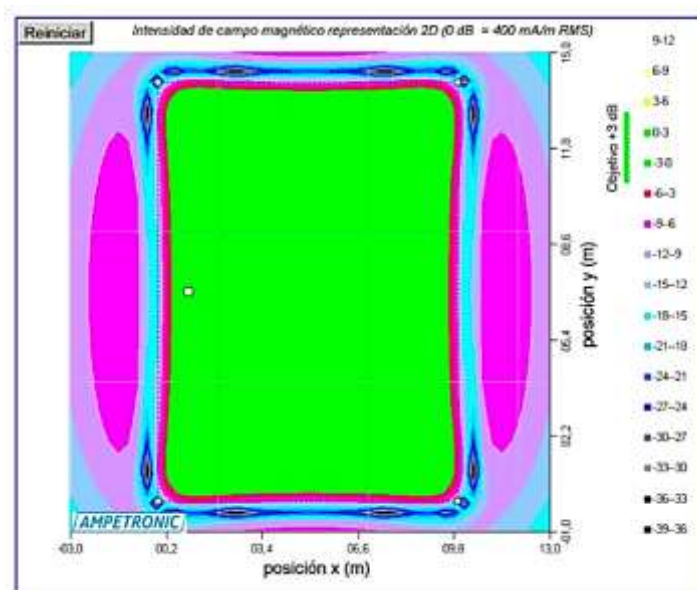


Figura 27. Patrón de campo magnético de un bucle sin efectos metálicos.

Tomado de: UNE – EN ISO 60118-4, 2018, p.41

En la figura 28 se muestra el patrón de campo magnético bajo el efecto de estructuras metálicas que se sitúa en el suelo, debajo del bucle.

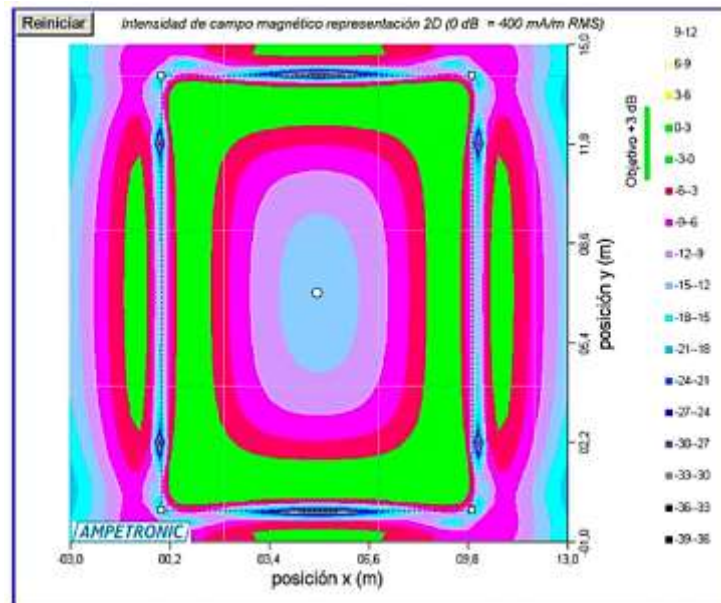


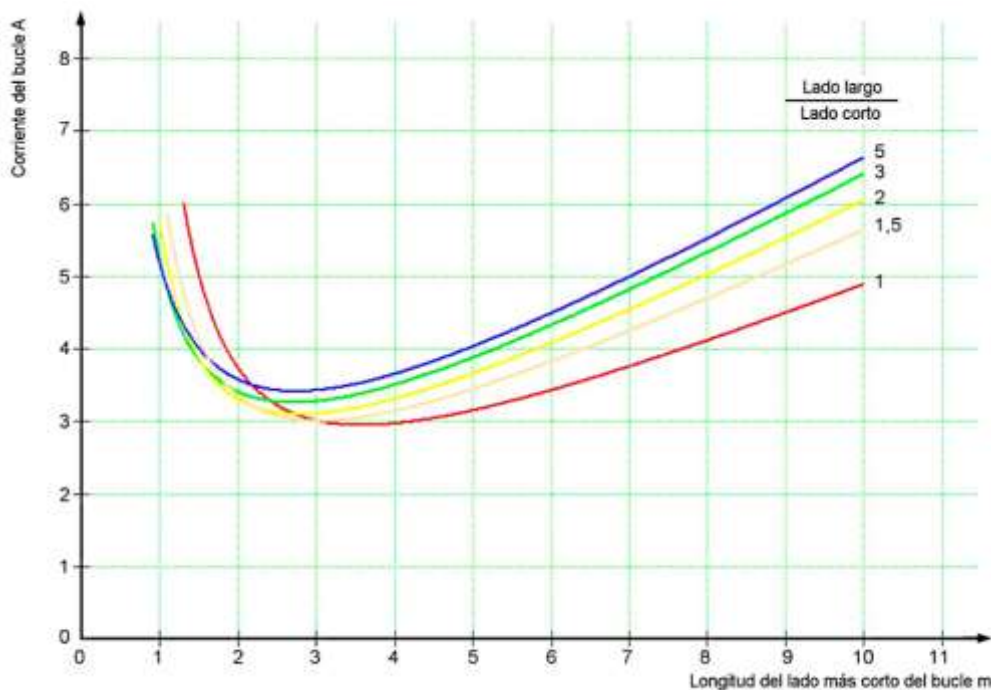
Figura 28. Patrón de campo magnético de un bucle bajo el efecto de estructuras metálicas.

Tomado de: UNE-EN ISO 60118-4, 2018, p.42

## 2.8. Efecto de la relación de aspecto del bucle sobre la intensidad del campo magnético

La intensidad del campo magnético varía en tres dimensiones del espacio que se genera alrededor del bucle, por esta razón no es fácil mostrar cómo se comporta en un medio bidimensional. En la figura 29 se observa la variación del campo magnético con las dimensiones del bucle y la relación de aspecto (lado largo/lado corto), para que se pueda crear una intensidad de campo de 400 mA/m en un punto a 1,4 m por encima del centro del bucle rectangular. Se puede observar que, para relaciones superiores a tres, esta relación tiene poco efecto sobre la corriente requerida.





*Figura 29.* Variación de corriente requerida para producir una intensidad de campo específica en un punto, con las dimensiones y la relación de aspecto del bucle.

Tomado de: UNE-EN ISO 60118-4, 2018, p.43

En la figura 30 se puede observar el efecto de la relación de aspecto sobre los patrones del campo, la cual muestra el diseño en vista de planta de un bucle cuadrado en la parte izquierda y de un bucle rectangular en la parte derecha, ambos con la misma anchura, pero con una relación de aspecto de 4. El bucle rectangular posee más resistencia e inductancia que el bucle cuadrado y proporciona un perímetro más grande.

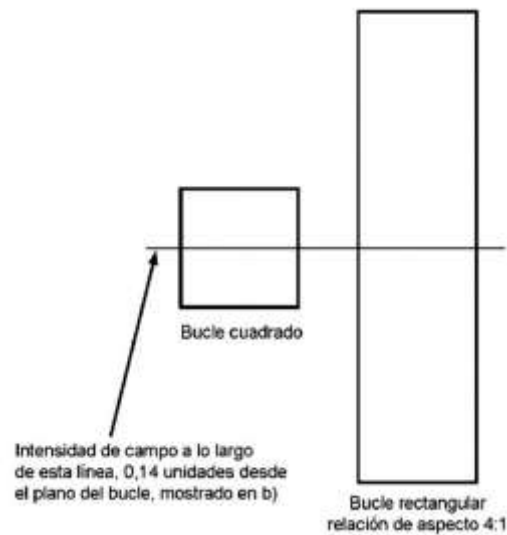


Figura 30. Plano de bucle cuadrado y rectangular.

Tomado de: UNE-EN ISO 60118-4, 2018, p.35

En la figura 31 se puede notar patrones de campo magnético que se produce con la misma corriente fluyendo en cada bucle, con la misma corriente de la figura 30. La variación de intensidad de campo a través de la línea central de los bucles es aproximadamente la misma. Si los dos bucles poseen la misma corriente, el bucle rectangular genera una intensidad de campo magnético más baja dentro de su perímetro, pero una intensidad de campo más alta fuera del mismo.

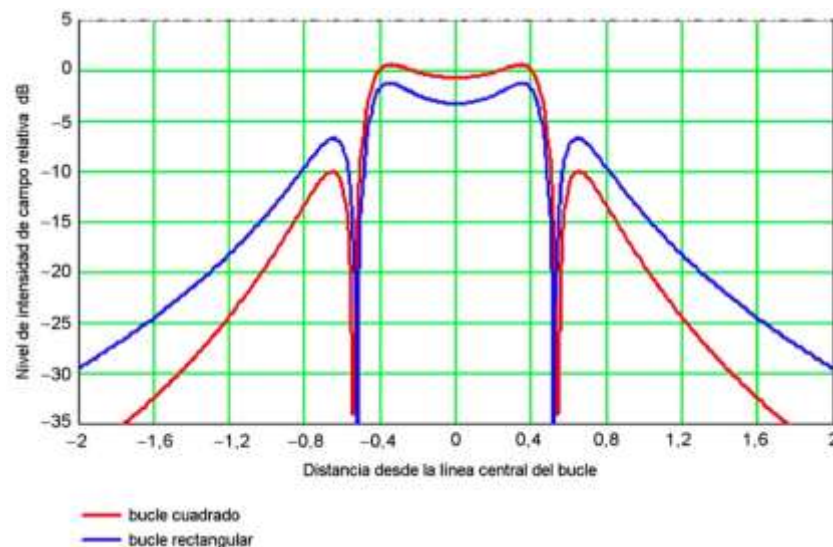


Figura 31. Bucles cuadrado y rectangular.

Tomado de: UNE-EN ISO 60118-4, 2018, p.43

## **2.9. Parámetros de amplificadores de bucle inductivo**

### **2.9.1. Impedancia nominal de la fuente**

Se debe indicar cada entrada de impedancia interna o de la fuente señal, o el rango de impedancias aceptables. Este valor se debe medir en ohmio ( $\Omega$ ), y se asume que es una resistencia pura.

### **2.9.2. Fuerza electromotriz de la fuente**

Cuando está conectada por una impedancia nominal de la fuente, crea una corriente nominal de salida de salida, y tiene todos los controles ajustados.

El valor de cada entrada del amplificador se debe indicar en voltios (V), o mili voltios (mV); también se puede indicar en decibelios (dB), con una referencia de 1 V o 0,775 V.

### **2.9.3. Carga nominal**

La carga nominal se debe indicar, a que salida del amplificador se conecta, esto nos ayuda cuando se realice las mediciones. Es importante que la resistencia y la inductancia no deben generar distorsión en la amplitud, ya que la corriente debe llegar a la salida sin sobrecalentamiento, o que se modifique su valor. La carga se indica como una combinación entre una inductancia y una resistencia que van en serie.

### **2.9.4. Corriente nominal de salida limitada por la temperatura**

La corriente de salida máxima se debe suministrar por un tiempo indefinido a la carga nominal sin que altere su valor original. El valor se expresa en amperios (A).

### **2.9.5. Tiempo nominal para suministro de corriente nominal de salida limitada por distorsión**

El tiempo en el que actúa la corriente nominal de salida limitada por la distorsión, se debe suministrar por la carga nominal, sin que produzca efectos que no se aceptan en las especificaciones del amplificador. El valor se debe presentar en minutos o segundos.

### **2.9.6. Distorsión armónica nominal total de la corriente de salida**

El valor de la distorsión armónica total no debe sobrepasar cuando se realice el suministro de la corriente máxima nominal. El valor se indica como un nivel (dB) con referencia a la corriente de salida total, o como un porcentaje de dicha corriente.

### **2.9.7. Corriente de salida máxima (limitada por la distorsión)**

La corriente máxima, que se produce por una señal sinusoidal a 1 kHz, se debe suministrar al menos 10 segundos a la carga nominal, y no debe sobrepasar la distorsión armónica total. Cuando el amplificador está en funcionamiento, se aumenta la corriente de carga hasta que la distorsión armónica total que se mide sea igual al valor nominal. El resultado que se obtenga se debe presentar en amperios (A).

### **2.9.8. Tensión disponible**

La carga nominal que puede suministrar el amplificador es el promedio dividido para 2, de las tensiones pico positivas y negativas máximas. Para medir la tensión se aplica una señal de entrada con un ancho de banda limitado a una tensión eficaz de  $18 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ , con un espectro plano de 1 dB desde 100 Hz a 5 kHz en tercios de octava. Si el amplificador posee un ancho de banda mayor al mencionado se debe limitar con filtros paso-altos y paso-bajos tipo Butterworth de tercer orden.

El nivel de señal de entrada se ajusta con el control automático de ganancia, hasta que la corriente de salida eficaz esté 6 dB por debajo de la corriente de salida máxima.

### 2.9.9. Ruido

El ruido que produce la tensión de entrada es el mismo ruido que producirá el amplificador. Con el amplificador encendido, la fuerza electromotriz de una señal sinusoidal de 1 kHz se reduce hasta que el control automático por ganancia interrumpe. Si el amplificador posee una desconexión cíclica de ruido o expansión de volumen de bajo nivel, la fuerza electromotriz de la fuente se ajusta a un cambio de nivel de entrada de 2 dB y produce un cambio de nivel de corriente de salida.

Después se mide la fuerza electromotriz de la fuente (U), y la corriente de salida nominal (I); con esto la fuerza electromotriz se reduce a 0 y corriente de salida con ruido (I<sub>n</sub>), se mide con ponderación A. La tensión equivalente del ruido de entrada (U<sub>n</sub>) se mide con la siguiente fórmula.

$$U_n = \frac{U \cdot I_n}{I}$$

Ecuación 7. Tensión equivalente del ruido de entrada

Y para calcular la relación señal-ruido (S) se mide en decibelios, y se calcula con la siguiente fórmula.

$$S = 10 \cdot \log \left( \frac{I_r^2}{I_n^2} \right) [dB]$$

Ecuación 8. Relación señal ruido.

### **2.9.10. Intensidad de campo magnético**

El valor máximo del promedio a corto plazo (0,125 s) del valor eficaz de la intensidad del campo magnético, se da con las siguientes condiciones:

- Se mide con una bobina, y su eje magnético es vertical.
- Es realizado por el sistema en un punto, el cual se encuentra en la parte interna del volumen útil del campo magnético.

Se puede medir con diferentes tipos de señales la más utilizada es la señal sinusoidal, la cual ofrece la misma resistencia e inductancia que la carga nominal, se aplica al amplificador la señal sinusoidal de 1 kHz y se mide la corriente del bucle para saber si sobrepasa la corriente nominal máxima del bucle. Se debe medir la intensidad del campo magnético a 1,4 metros de altura. Se debe especificar la intensidad del campo magnético en miliamperios sobre metros.

### **2.9.11. Dimensiones del bucle**

Las dimensiones del bucle, debe tener una relación 3:1, para que la intensidad del campo magnético sea de 400 mA/m.

En la Tabla 1 se puede observar dimensiones de bucles típicos utilizados en distintos recintos.

Tabla 1.

*Tipos de bucles típicos.*

Tipo de bucle	Dimensiones m	Número de vueltas	Perímetro m	Área del conductor mm <sup>2</sup>	Resistencia Ω	Inductancia μH	Impedancia a 2 kHz Ω	Impedancia a 5 kHz Ω
Collar de inducción	diámetro 0,22	10	0,7	0,5	0,24	85	1,09	2,67
Bucle para ventanillas	0,35 × 0,45	10	1,5	0,75	0,37	189	2,41	5,96
Bucle en un entorno doméstico	3 × 4	1	14	1,0	0,24	22	0,37	0,74
Recintos pequeño	6 × 8	1	28	1,5	0,32	47	0,67	1,52
Lugar de culto típico	10 × 20	1	60	1,5	0,69	109	1,54	3,50
Lugar de culto grande	15 × 40	1	110	2,5	0,76	218	2,85	6,89

Tomado de: UNE-EN 62489-1, 2010, p.6

### 2.9.12. Respuesta en frecuencia

El método de medición para la respuesta en frecuencia sin control automático de ganancia o sin compresión, es ajustar el amplificador en las condiciones normalizadas y se debe cambiar la frecuencia de la señal sucesiva a frecuencias centrales por tercios de octava en el rango de 50 Hz a 8 kHz, y se mide la corriente de carga de cada una de las frecuencias. Si el amplificador posee control automático de ganancia, se siguen las instrucciones que da el fabricante sobre fuerza electromotriz de la fuente de entrada que se utiliza. Los resultados de la respuesta en frecuencia se presentan en un gráfico, en la respuesta a 1 kHz, considerada como 0 dB.

### 2.9.13. Control automático de ganancia

El control automático de ganancia se caracteriza por tener una corriente de salida para el amplificador y mantenerla de forma permanente para que el bucle de control sea constante. También el amplificador consta de compresión, el cual ajusta la ganancia del bucle de control, la compresión modifica la calidad de la corriente de salida del amplificador en régimen permanente.

Para medir el control automático de ganancia se ajusta el amplificador en condiciones nominales, y se reduce la fuerza electromotriz de entrada a 0. Después se activa el control automático de ganancia si es necesario o la característica de compresión, y por último se activa la fuerza electromotriz de la fuente de entrada, y se mide la corriente de cada parte, la duración de la medición debe ser hasta que los valores se estabilizan.

Los resultados se presentan en un gráfico, con referencia logarítmica de la fuerza electromotriz en el eje x, y la corriente de salida máxima nominal en el eje y.

La relación de compresión es la diferencia del incremento del nivel de la fuerza electromotriz de la fuente y el incremento de nivel de la corriente de salida. En la figura 34 se puede observar la diferencia en el control automático de ganancia, una compresión de 2:1 y una compresión 3:1, la relación 2:1 de compresión es muy utilizada ya que ayuda a mejorar la inteligibilidad del habla para los usuarios de audífonos, mientras que la relación 3:1 son de calidad sonora estridente y desagradable.

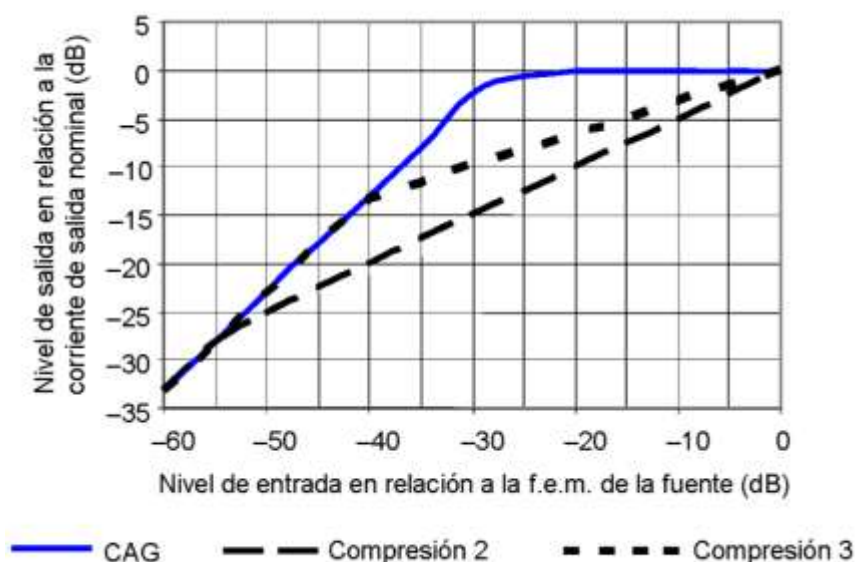


Figura 32. Características típicas de entrada y salida en régimen permanente.

Tomado de: UNE-EN 62489-1, 2010, p.8



### **3. Desarrollo**

La propuesta de implementación de sistemas de bucles inductivos en los auditorios de la Universidad de Las Américas se basa en dos normas españolas que proporcionan los requisitos para el diseño e implementación de un óptimo bucle inductivo. Estas normas son:

- UNE EN 62489-1, la cual nos explican los métodos de medida y las especificaciones de los componentes que forman el sistema de bucle inductivo. De esta norma se basa el desarrollo del diseño y especificación de los equipos.
- UNE EN 60118-4, esta norma nos indica cómo se debe medir los parámetros del campo magnético y que equipos se debe utilizar. Se explicará los métodos de medición para comprobar el funcionamiento del bucle inductivo.

Antes de realizar el diseño de los bucles inductivos en los auditorios, se diseñará un prototipo en la sala de usos múltiple de la Universidad de Las Américas sede Granados. En el anexo A se puede observar los planos de la sala de uso múltiple de la Universidad de Las Américas.

#### **3.1. Equipos**

A continuación, se detalla el equipo que se utiliza en el prototipo y en los diseños teóricos de los bucles inductivos para los auditorios de la Universidad de Las Américas.

##### **3.1.1. Amplificador**

Este equipo está diseñado en base a las normas UNE-EN 60118-4 y UNE-EN 62489-1. A continuación, se explicará los parámetros.

Según la norma, los amplificadores deben tener una o varias entradas para micrófonos y deben suministrar corriente al bucle inductivo, si existen equipos externos como preamplificador o mezclador; se puede utilizar métodos donde la señal de entrada vaya por el preamplificador, mezclador y la señal de salida debe ser por el amplificador final.

Se utilizará algunos amplificadores para los distintos diseños de los recintos los cuales son: PLS-X5 para el prototipo de la sala de uso múltiple, PLS-X1 para el auditorio Udlapark y el SLS-5 para los auditorios de Granados y Queri. Estos amplificadores se escogieron ya que según estudios e investigaciones previas son los más aptos para la superficie de cada auditorio.



Figura 33. Amplificador UNIVOX PLS-X5.

Tomado de: Tecno Accesible, s.f.

### 3.1.2. Cable

Para el sistema de bucle inductivo la norma UNE-EN 62489-1:2010 recomienda un cable mono conductor, el cual es un hilo aislado de sección transversal circular de  $0,5 \text{ mm}^2$  a  $4,0 \text{ mm}^2$  puede ser de varios filamentos.

La impedancia de carga del cable depende de la longitud y el área de la sección transversal del cable; para calcular la resistencia del cable se debe seguir la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\rho l}{a}$$

Ecuación 9. Resistencia de un cable.

Dónde:

$R$  = Resistencia del cable.

$p$  = Resistividad del cable.

$l$  = Longitud del cable.

$a$  = Superficie del cable.

El valor de la inductancia del cable varía respecto la longitud del cable y también del área de la sección transversal. Existen otros tipos de sección transversal que son utilizados, como el cable plano, el cual tiene una inductancia más baja que los cables circulares.

Un valor de la inductancia útil para el bucle inductivo es de alrededor 2 H/m para sección transversal circular y 1,2 H/m para una sección plana; estos valores pueden tener variaciones si se encuentran cerca de estructuras metálicas. Tal como se observó en la Tabla 1 los valores típicos de resistencias e inductancias, también impedancias reales para los sistemas de bucles inductivos, los cuales se calcularon con las ecuaciones antes mencionadas.

El cable que se utilizará para el sistema de bucle es un cable plano de cobre aislado, la ventaja de utilizar este tipo de cable es que mejora la distribución de las frecuencias, sobre todo en frecuencias altas; dando mejor inteligibilidad en el sistema. En la figura 34 se podrá observar cómo es el cable plano.



*Figura 34.* Cable mono conductor.

Tomado de: Barajas, s.f.

En la Tabla 2 se puede observar un ejemplo de las características de un cable plano mono conductor.

Tabla 2.

*Características del cable plano.*

<b>Características Técnicas</b>				
<b>Material</b>	<b>Grosos</b>	<b>Anchura</b>	<b>Área de cable</b>	<b>Longitud</b>
<b>Cinta de cobre</b>	0,1 mm	25 mm /	2,5 mm <sup>2</sup> / 1,5	Rollos de
<b>Aislante plástico</b>	0,24 mm	12,25 mm	mm <sup>2</sup>	100 mts.
<b>Grosor total</b>	0,34 mm			

Tomado de: Cerrada. D, s.f.

### 3.1.3. Micrófono

Los micrófonos más usados son dos tipos, los dinámicos y los electret. Los micrófonos dinámicos son muy recomendados ya que no necesita ninguna alimentación, un problema es que estos son sensibles a los campos magnéticos. Se puede captar los zumbidos por el cableado de alimentación y esto puede ocasionar una realimentación magnética por acción del conductor del bucle.

Los electret son los más utilizados por su alta calidad en comparación con los dinámicos, que son menos costosos, además la respuesta en frecuencia y patrón polar de este tipo de micrófonos son mejores que los dinámicos, sin embargo, los electret necesitan una fuente de alimentación.

El posicionamiento de los micrófonos se debe escoger, teniendo en cuenta que el sonido directo y el sonido reverberado sea lo más grande posible; exceptuando los micrófonos que tienen un buen patrón polar.

### **3.2. Diseño**

Para realizar el diseño del prototipo del sistema de bucle, el recinto debe cumplir con ciertos parámetros, que se los verá a continuación.

Se debe examinar si existe nivel de ruido magnético de instalaciones eléctricas, como son equipos de calefacción o sistemas de iluminación, en el caso que el recinto posea alguno de estos equipos, el bucle inductivo se debe colocar en un área donde no afecte el ruido magnético por las instalaciones eléctricas. Además, se debe tomar en cuenta si existe influencia de materiales que son conductores o magnetizables en la estructura del recinto, ya que puede afectar reducir la intensidad del bucle. Asimismo, hay que comprobar que no existan otros sistemas de bucles inductivos cercanos al sistema que se va a diseñar, ya que las señales pueden interferir entre los sistemas de bucle de inducción.

Para analizar cómo se comportarán los auditorios se utilizará el *software loop designer* de la empresa UNIVOX, el cual se basa en las dimensiones de la sala y condiciones (materiales) de cada recinto. La simulación entrega gráficos en 2D de la intensidad de campo, conductores y equipos que se podrían utilizar. Estas simulaciones solo funcionan para equipos UNIVOX.

#### **3.2.1. Diseño para el prototipo de la sala de uso múltiple**

Para el diseño del prototipo de la sala de usos múltiple de la Universidad de Las Américas, se realizó un estudio de los componentes, como: material de las paredes, techo y piso que conforman el recinto. En las figuras 35 y 36 se pueden observar fotografías de cómo se encuentra la sala y los artefactos que existen en ella.



*Figura 35.* Sala de usos múltiples (vista frontal).



*Figura 36.* Sala de usos múltiples (vista posterior).

La sala tiene un aforo para unas 72 personas, generalmente es utilizado para conferencias y charlas de la Universidad. Las dimensiones de la sala son: 10,42 m (largo) 7,00 m (ancho) y 2,75 m (altura). Dando un volumen de 200 m<sup>3</sup>.

En la tabla 3 se observa la cantidad de materiales que se encuentra en cada superficie de la sala.

Tabla 3.

*Materiales sala de usos múltiples.*

<b>SUPERFICIE</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Paredes</b>	Gypsum: 50%
	Estructura metálica: 15% de aluminio
	Columnas de concreto: 5%
	Ventanas: 25%
	Puertas: 5% de madera aglomerada
<b>Suelo</b>	Piso flotante: 100% madera maciza
<b>Techo</b>	Cielo raso: 90% <i>Drywall</i>
	Estructura metálica: 10% de Aluminio

En el interior del recinto existen 56 sillas con estructura metálica, las cuales sumadas a las estructuras metálicas de las superficies del recinto puede afectar la intensidad de campo magnético.

La simulación del sistema nos entrega dos propuestas, ambos casos tienen cableado perimetral de tipo vertical y horizontal de diámetro 2x4 mm, con 2 diferentes amplificadores, el PLS-X5 y PLS-X1. A continuación, se exponen los casos.

- **Propuesta A**

Para este caso se utiliza un amplificador PLS-X5, las especificaciones de este se las puede observar en anexos. El cable que se utiliza es de cobre puro paralelo y se lo debe conectar al amplificador en 2T, la longitud de cable será alrededor de 40 metros. Para proteger el cable se utiliza una funda de polietileno que cubra el cable y se lo adhiere al piso con pegamento térmico.

En la figura 37 se puede apreciar la simulación del campo magnético que se genera en la sala. Donde el punto medio de la sala tenemos menos intensidad, lo demás de la sala es de un buen nivel de intensidad. Por otro lado, fuera del perímetro del recinto se observa cómo transmite cierta cantidad de intensidad magnética.

Además, la gráfica muestra tanto en el eje X como en el Y la pérdida de nivel por distancia. En esta gráfica se puede ver como en los inicios del bucle no hay pérdidas de nivel, pero a partir de los 3,5 m, tanto en el eje X como en el Y, comienza a bajar un poco el nivel teniendo una pérdida de -3 dB, siendo esto aceptable.



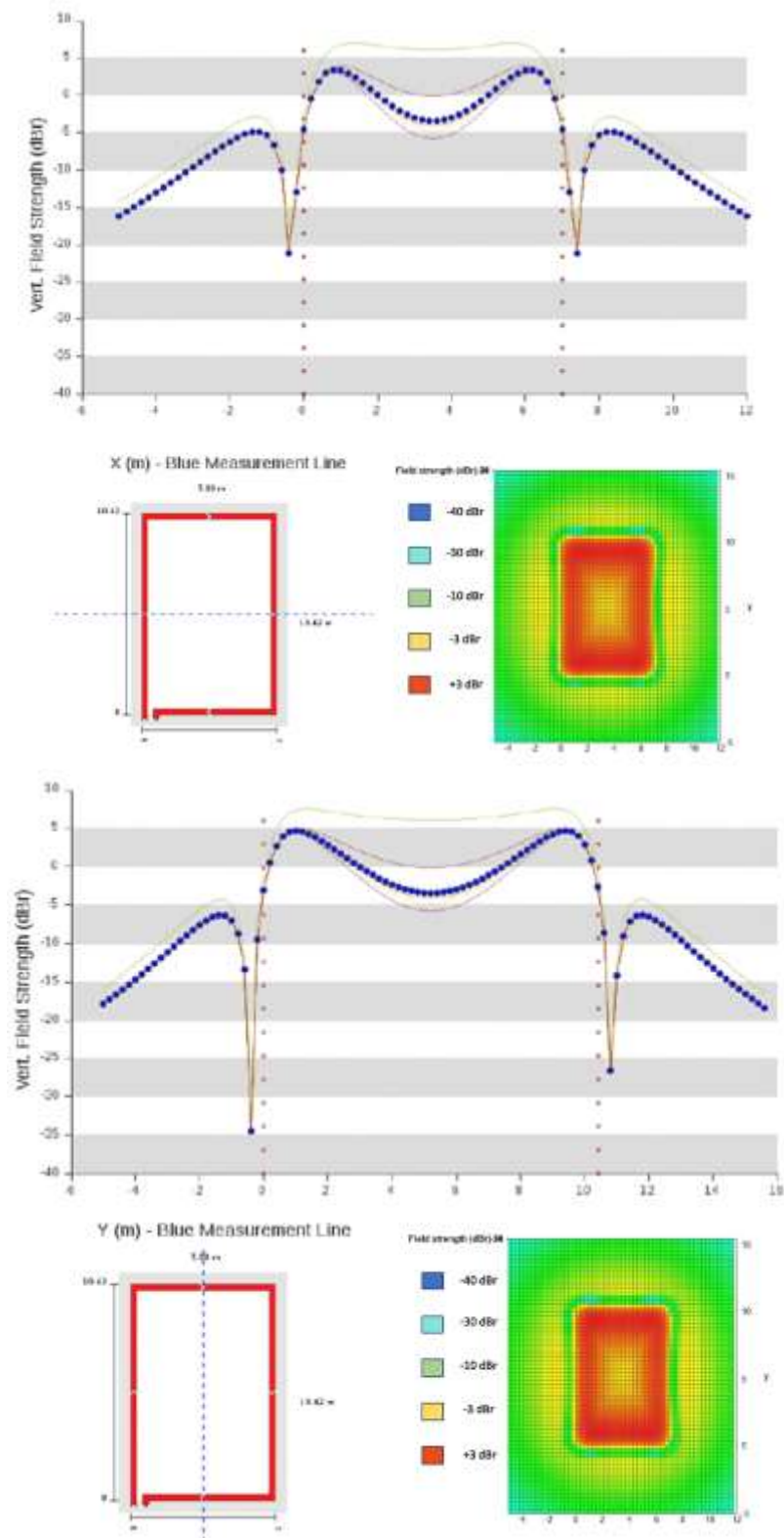


Figura 37. Función de transferencia de control en la pérdida de metal en diseño perimetral horizontal y vertical. Caso A.

Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2018, p.1

- **Propuesta B**

En este caso el amplificador que se va a utilizar es un PLS-X1, la diferencia con el PLS-X5 es el voltaje que entrega y la intensidad de corriente que posee, siendo estas dos características influyentes en la forma del cableado y el tipo de cable. Las especificaciones técnicas de este amplificador se explican en el apartado de anexos.

El cable que se utiliza para este caso es un cable de cobre de 2x2 mm de diámetro y se conecta en configuración 2T, se utilizarán alrededor de unos 70 metros de cable.

En la figura 38 se visualiza la simulación del campo magnético de la sala, mismo que utiliza el pasillo central para colocar el cruce del bucle donde se generan dos campos magnéticos que van al mismo amplificador, en esta misma figura se observa pérdida de -3 dB a los 2 y 5 metros, y una muy significativa en el eje X a los 3,5 m teniendo una pérdida de -13 dB, lo que sería demasiado bajo ya que no se apreciaría el mensaje como campo directo se escucharía como con ruido de fondo. Además, que solo esto funcionaría si las sillas a colocar fueran divididas en 2 grupos.

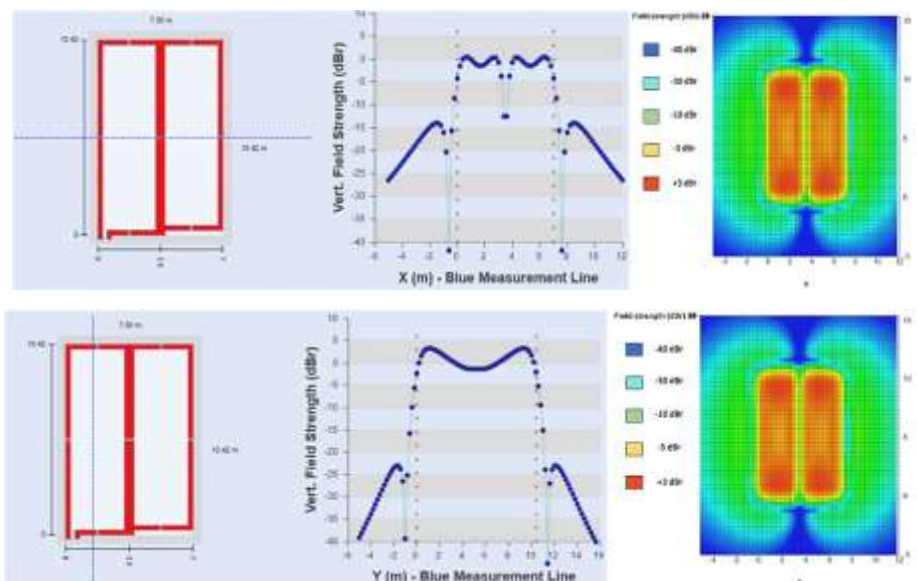


Figura 38. Simulación del campo magnético de la sala.

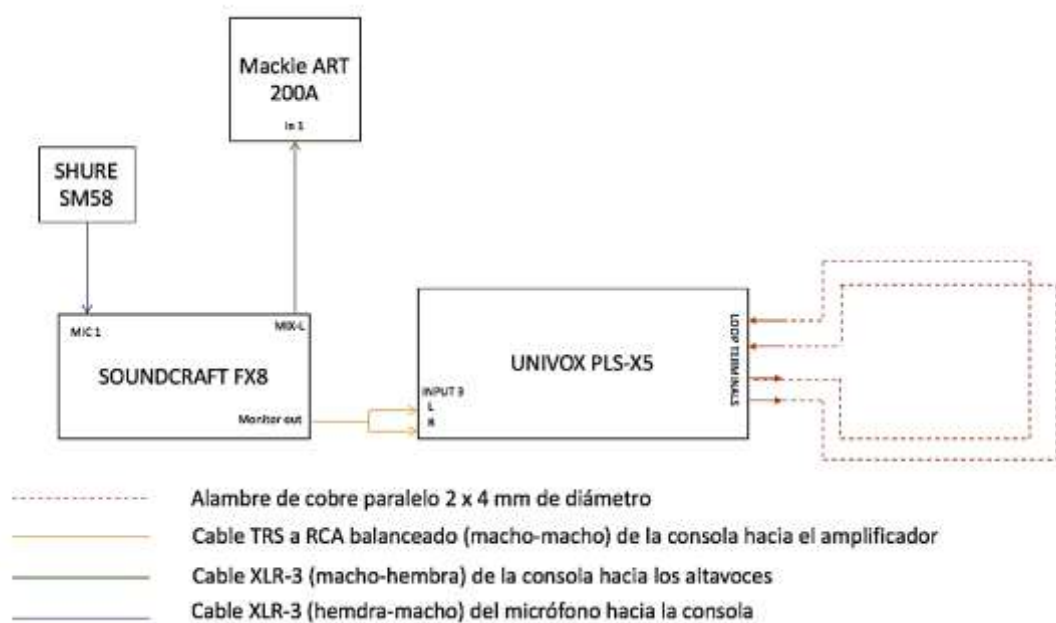
Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2018, p.2

Debido a las mejores prestaciones que tiene la propuesta A, se decide la implementación de esta. Es mejor que la propuesta B debido a que este caso no presenta pérdidas muy significativas que afecten a la escucha con el audífono.

Además, el caso A tiene una gran ventaja ya que este no importa de como estén ubicadas las sillas, en el caso de que se las separa igual tendríamos una buena intensidad.

Ya conociendo cual prototipo seguir, se calcularon las fórmulas antes mencionadas en apartados anteriores, realizando el cálculo teórico, estos resultados se los puede observar en anexos.

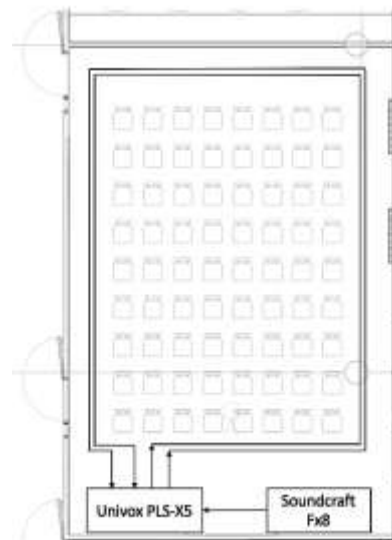
En la figura 39 que precede se aprecia la cadena electroacústica con las entradas y salidas de los equipos utilizados en el recinto, los cuales facilitan a técnicos de medición poder guiarse en las conexiones de estos mismos.



*Figura 39.* Cadena electroacústica del sistema de bucle en la sala de uso múltiple.

En la figura 40 se observa la distribución de los equipos que se escogieron para el prototipo, se determinó de esa manera ya que el amplificador necesita

corriente eléctrica y en la parte de atrás no se encuentra ninguna toma de corriente. Además, por los otros equipos que existen en la sala ya que generalmente tienen posiciones muy recurrentes y estos tienen anaqueles y mesas donde se asentaría el amplificador del bucle.



*Figura 40. Distribución de los equipos en la sala de usos múltiples.*

Tomado de: UDLA, 2018, p.1

### **3.2.2. Diseño teórico del auditorio Granados**

Para el diseño teórico del auditorio Granados de la Universidad de Las Américas, se realizó un estudio de las superficies, como: material de las paredes, techo y piso que conforman el recinto. En las figuras 41 y 42 se pueden observar fotografías de cómo se encuentra la sala y los artefactos que existen en ella.



Figura 41. Auditorio Granados, vista posterior.



Figura 42. Auditorio Granados, vista frontal.

El auditorio tiene un aforo para unas 160 personas, generalmente es utilizado para conferencias y *workshops* de la Universidad. Las dimensiones de la sala son: 25,189 m (largo) 12,24 m (ancho) y 4,15 m (alto). Dando un volumen de 687,32 m<sup>3</sup>.

En la tabla 4 se observa la cantidad de materiales que se encuentra en cada superficie de la sala.

Tabla 4.

*Materiales de Auditorio Granados.*

<b>SUPERFICIE</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Paredes</b>	Gypsum: 50%
	Estructura metálica: 15% de aluminio
	Columnas de concreto: 25%
	Ventanas: 5%
	Puertas: 5% de madera aglomerada
<b>Suelo</b>	Baldosa cerámica
<b>Techo</b>	Cielo raso: 90% <i>Drywall</i>
	Estructura metálica: 10% de Aluminio

Con la ayuda del simulador para este sistema de bucle se utilizará el amplificador UNIVOX SLS-5, que se especifica en el apartado de anexos.

En el interior del recinto existen 159 sillas con estructura metálica, debido a que existe una gran concentración de material metálico hay que tomar en cuenta ya que afecta la intensidad de campo.

Para al auditorio Granados se utilizará cable de  $1 \times 6 \text{ mm}^2$  de diámetro, el diseño utilizará cuatro entradas del amplificador. Las dos primeras entradas cubrirán cierta parte del perímetro del bucle y las otras irán entrelazadas con la anterior entrada, como se puede apreciar en la figura 43, donde las líneas rojas son las dos primeras entradas y la línea azul son las dos siguientes entradas, así para poder abarcar todo el público. La cola es alrededor de 4 metros dependiendo de las posiciones del amplificador.

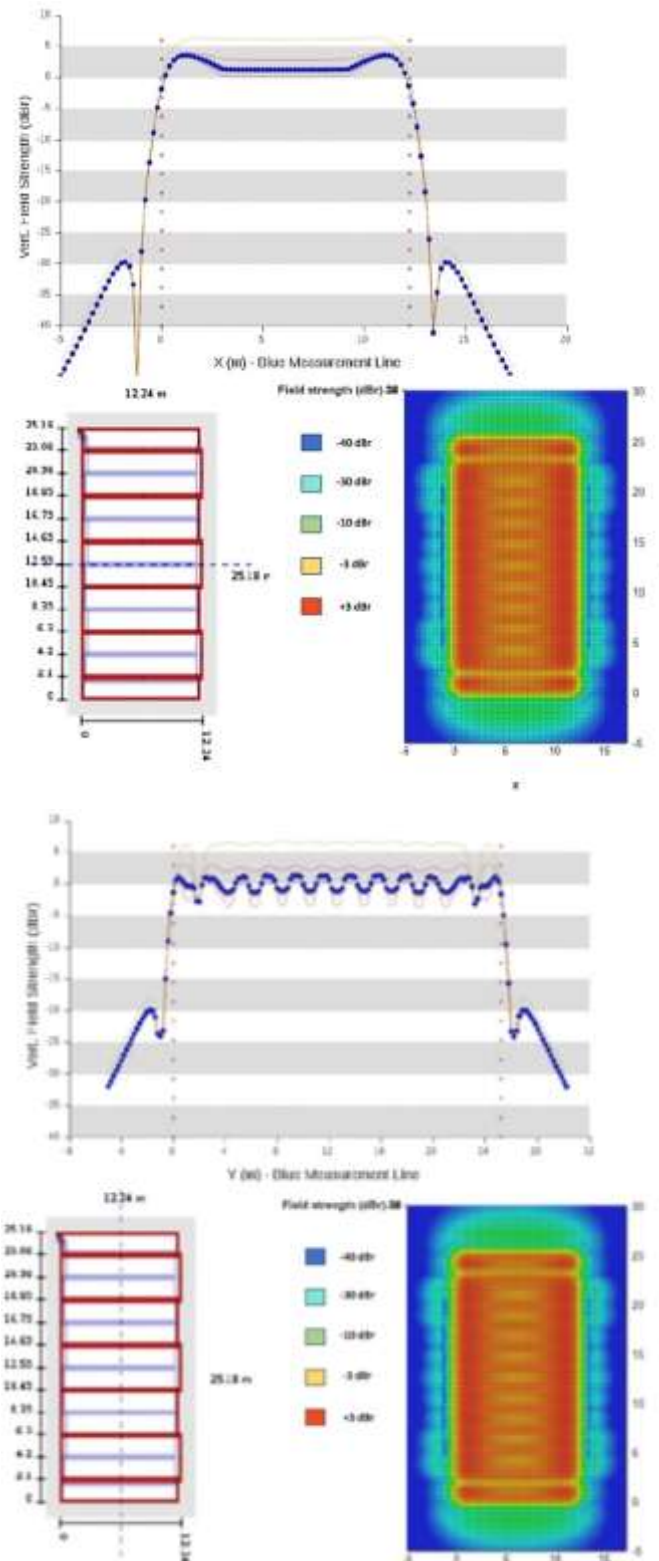


Figura 43. Pérdida de intensidad de campo magnético auditorio Granados.

Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2018, p.3

La simulación del auditorio se la puede observar en la figura 43, la intensidad de campo en donde se puede ver que se tiene -3 dB cada 2 metros en el eje Y, siendo este no tan perjudicial ya que no representa gran pérdida de nivel. En el gráfico de colores se puede corroborar lo mencionado antes, además con el gráfico de colores se puede observar que fuera del auditorio se tendrá una intensidad de campo muy baja, esperando así, que personas que se encuentren afuera con instrumentos de radio frecuencia no ensucien la señal.

En la figura 44 se observa la cadena electroacústica del auditorio, con este gráfico nos informamos que aparatos electroacústicos existe en el auditorio. Además de ser de gran importancia porque se conoce como están interconectados.

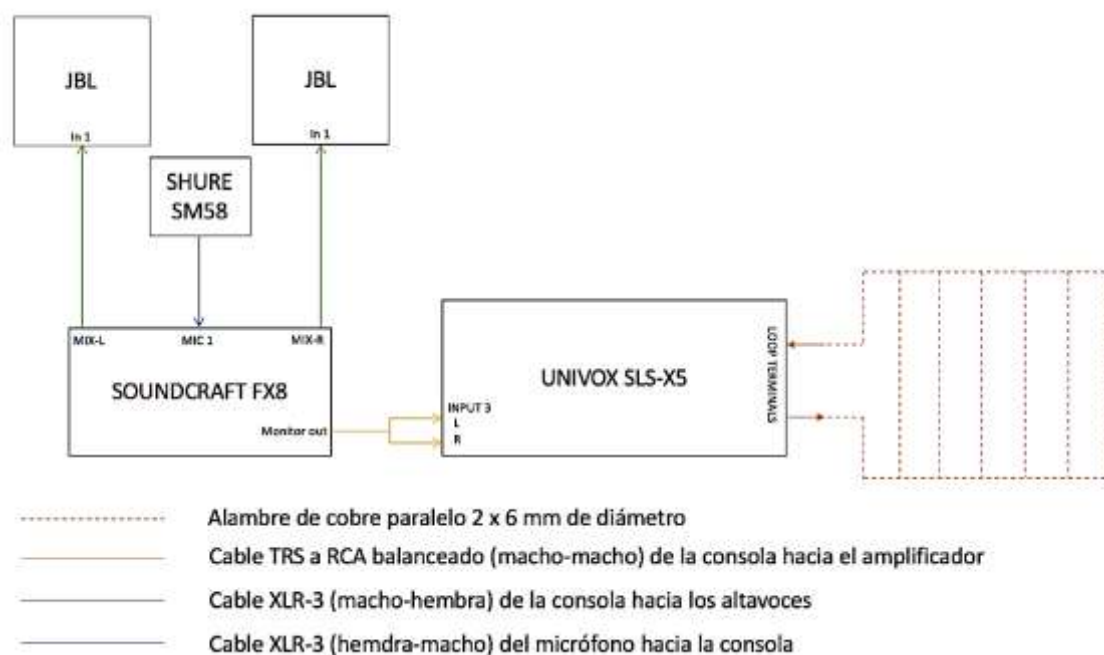
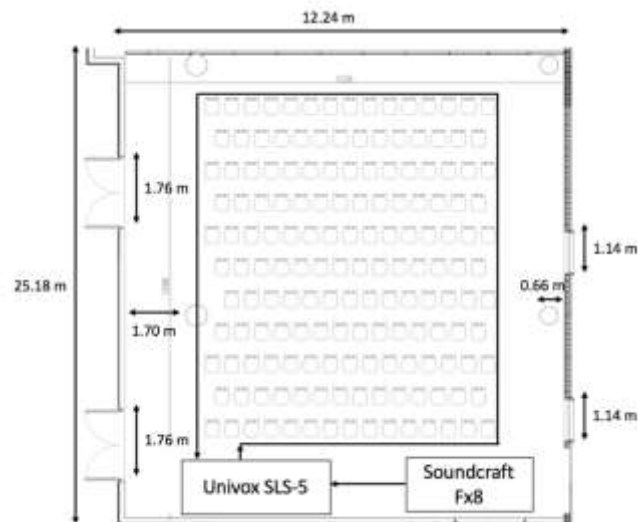


Figura 44. Cadena electroacústica, auditorio Granados.

En la figura 45 se observa, la ubicación de consola, amplificador y el perímetro por donde debe estar el cable. El principal problema que se producirá aquí es el hecho de que este auditorio se divide en dos, en la cual se tendrá problemas de escuchar en el audífono lo que sucede en el otro auditorio, este tema se abordará más a profundidad en el apartado 5.





*Figura 45.* Posiciones de cable y equipos del auditorio Granados

Tomado de: UDLA, 2018, p.2

### 3.2.3. Diseño teórico del auditorio Udlapark

En el auditorio Udlapark de la Universidad de Las Américas, se realizó un estudio de las superficies, como: material de las paredes, techo y piso que conforman el recinto. En las figuras 46 y 47 se pueden observar fotografías de cómo se encuentra la sala y los artefactos que existen en ella.



*Figura 46.* Auditorio Udlapark, vista posterior.



Figura 47. Auditorio Udlapark, vista frontal

El auditorio tiene un aforo para unas 322 personas, generalmente es utilizado para conferencias, conciertos y graduaciones de la Universidad. Las dimensiones de la sala son: 26,95 m (largo) y 14,16 m (ancho). Dando un área de 283 m<sup>2</sup>. En la tabla 5 se observa la cantidad de materiales que se encuentra en cada superficie de la sala.

Tabla 5.

*Materiales del auditorio Udlapark.*

<b>SUPERFICIE</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>Paredes</b>	Gypsum: 50%
	Estructura metálica: 15% de aluminio
	Columnas de concreto: 25%
	Ventanas: 2%
	Puertas: 5% de madera aglomerada
	Alfombra: 3%
<b>Suelo</b>	Baldosa cerámica: 80%
	Alfombra (encima de la baldosa): 80%
	Madera: 20%
<b>Techo</b>	Madera: 85%
	Estructura metálica: 15%

En este sistema de bucle se utilizará el amplificador UNIVOX PLS-X3, que se especifica en el apartado de anexos.

El sistema de bucle inductivo no ocupará todo el perímetro del público ya que las butacas que se encuentran situadas cerca de la pared no tienen la suficiente distancia entre pared y butaca, ya que el campo magnético que se crea es en forma de una cúpula y las butacas situadas cerca de la pared no entrarían en un correcto espacio magnético, en el caso que se quiera diseñar el bucle en todo el perímetro de las butacas, el ruido magnético que existe alrededor de las paredes afectaría al sistema de bucle inductivo. Por esta razón se toma una pequeña superficie de público para diseñar el sistema donde ocupa 6 filas y 12 columnas nuestro sistema, lo cual sería para 72 personas.

Para al auditorio Udlapark se utilizará cable de  $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$  de diámetro, el diseño utilizará cuatro entradas del amplificador; ya que se diseñará tipo 2T, y se utilizará alrededor de 76,54 metros de longitud de cable.

En este diseño se puede esconder el cable con la ayuda de los escalones y no se tiene el riesgo de que exista desbordamiento de campo magnético, ya que el volumen útil para el bucle no es de gran tamaño.

En la figura 48 se puede observar cómo en el eje X se tendrá una gran pérdida de intensidad de -24 dB en los 4 m y unas leves en 2,5 y 8 m. En el eje Y solo se tiene una leve pérdida de -3 dB en los 5,5 m.

En este auditorio no se tiene gran problema con el material de los asientos ya que estos son de plástico y tapizados, el mayor problema es su techo ya que en la parte de atrás es oblicuo y existe metal y cables de electricidad que disminuiría la intensidad de campo magnético. La cola de cable que se utilizará para el diseño es de 20 metros ya que el posicionamiento del amplificador es en la parte de la sala de control.

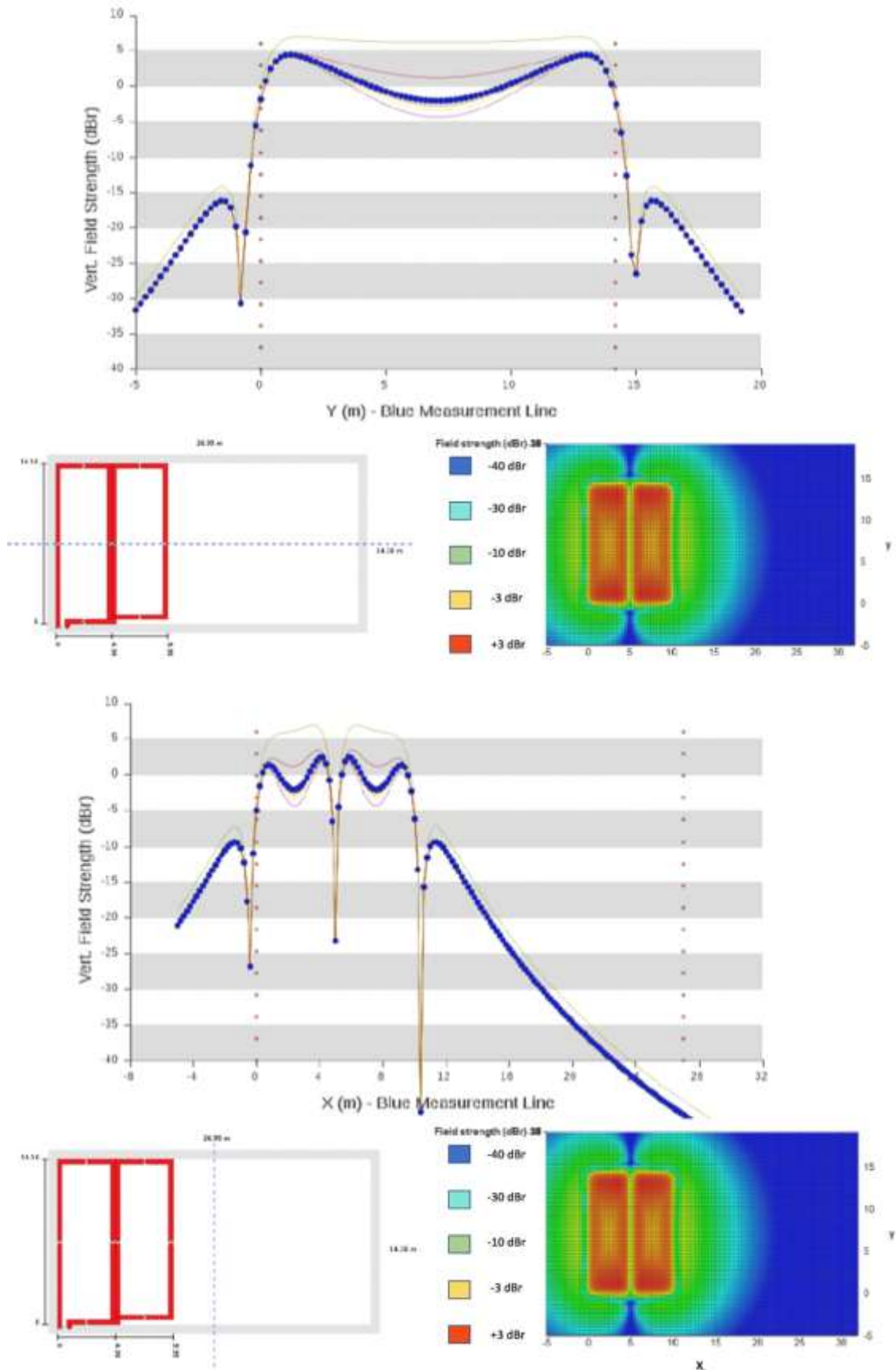


Figura 48. Posicionamiento del cable.

Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2018, p.4

En la figura 49 se observa la cadena electroacústica y como estaría con el amplificador, y la figura 50 se observa cómo va el cable por entre las butacas y regresando a l cuarto de control.

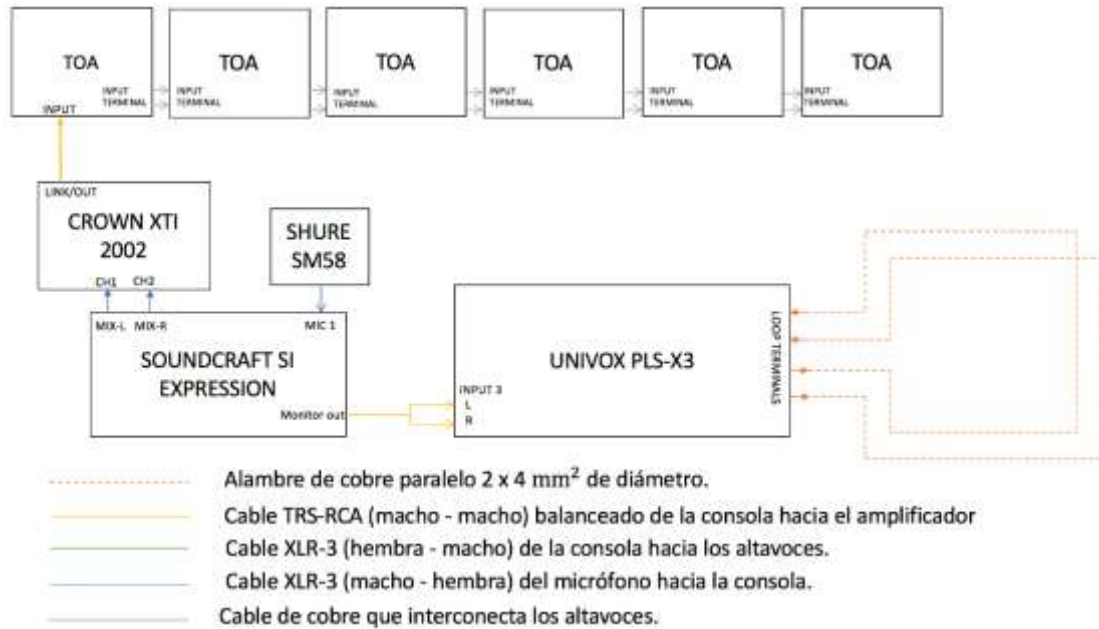


Figura 49. Cadena electroacústica, auditorio Udlapark.

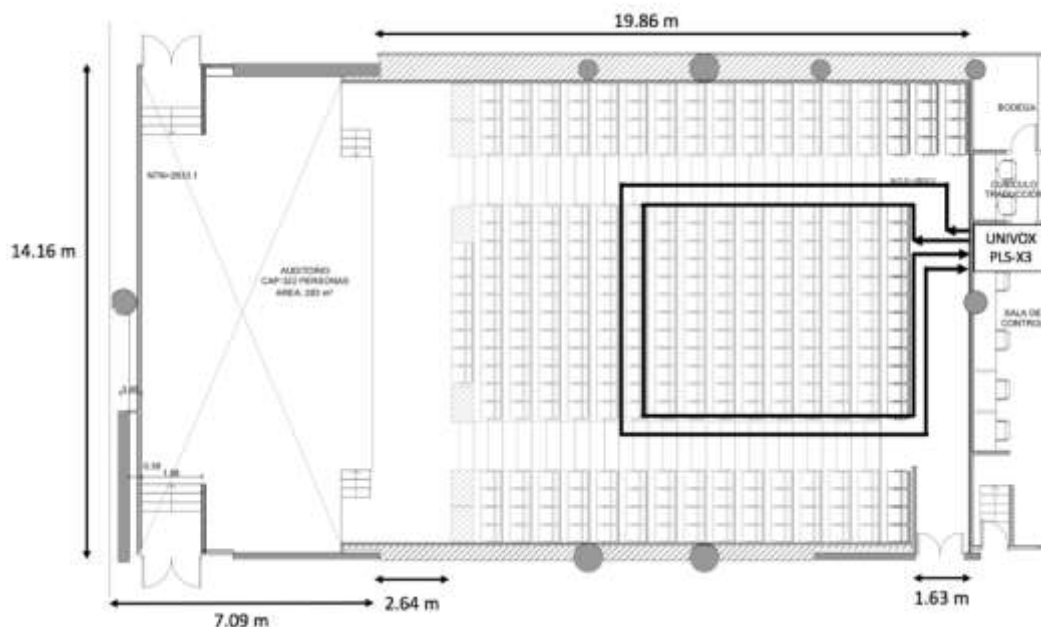


Figura 50. Posición de cable y equipos en Udlapark.

Tomado de: UDLA, 2018, p.5

### 3.2.4. Diseño teórico del auditorio Queri

En el auditorio Queri de la Universidad de Las Américas, se realizó un estudio de las superficies, como: material de las paredes, techo y piso que conforman el recinto. En la figura 51 se puede observar una fotografía de cómo se encuentra la sala y los artefactos que existen en ella.



*Figura 51.* Auditorio Queri, vista frontal.

En la tabla 6 se observa la cantidad de materiales que se encuentra en cada superficie de la sala.

Tabla 6.

*Materiales del auditorio Queri*

<b>SUPERFICIE</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>Paredes</b>	Gypsum: 50%
	Estructura metálica: 15% de aluminio
	Columnas de concreto: 20%
	Ventanas: 10%
	Puertas: 5% de madera aglomerada
<b>Suelo</b>	Baldosa
<b>Techo</b>	Cielo raso: 90% <i>Drywall</i>
	Estructura metálica: 10% de Aluminio

El amplificador que se utilizará en este auditorio es el UNIVOX SLS-X5, que se especifica en el apartado 3.1.

Para al auditorio Queri se debe utilizar cable de 1 x 6 mm<sup>2</sup> de diámetro, el diseño utilizará cuatro entradas del amplificador. Las dos primeras entradas cubrirán cierta parte del perímetro del bucle y las otras irán entrelazadas con la anterior entrada, como se puede apreciar en la figura 52, donde las líneas rojas son las dos primeras entradas y la línea azul son las dos siguientes entradas, esto se puede determinar según como se desea el instalador.

Este sistema se asemeja mucho a la del auditorio granados ya que se tiene leves pérdidas de -3 dB en el eje Y. Pero en este caso el eje X no se tiene perdidas, pero hay una gran cantidad de intensidad que después baja, pero no menos a cero, lo cual lo hace tener un buen nivel de intensidad en este eje. La cola del cable es de 4 metros ya que la colocación del amplificador será cerca de la posición de la consola.

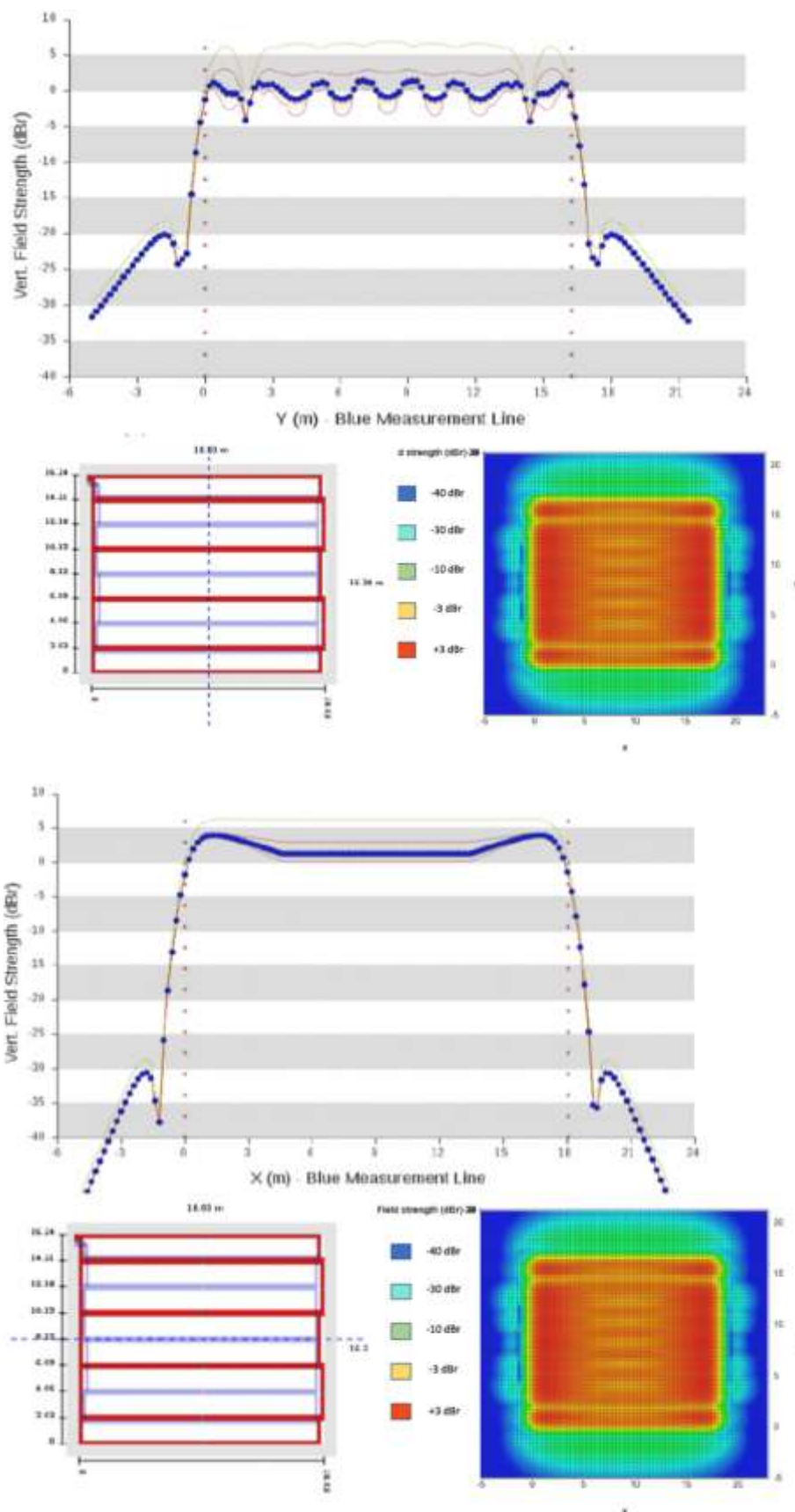


Figura 52. Posicionamiento del cable y nivel de campo magnético en la sala.

Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2018, p.6



En la figura 53 se observa la cadena electroacústica en cómo están interconectados los equipos del auditorio adicionalmente se colocó el amplificador de bucle, para que sea de conocimiento como debe ser la conexión con otros equipos. Mientras que en la figura 54 se observa cómo va el cable y la ubicación de los equipos.

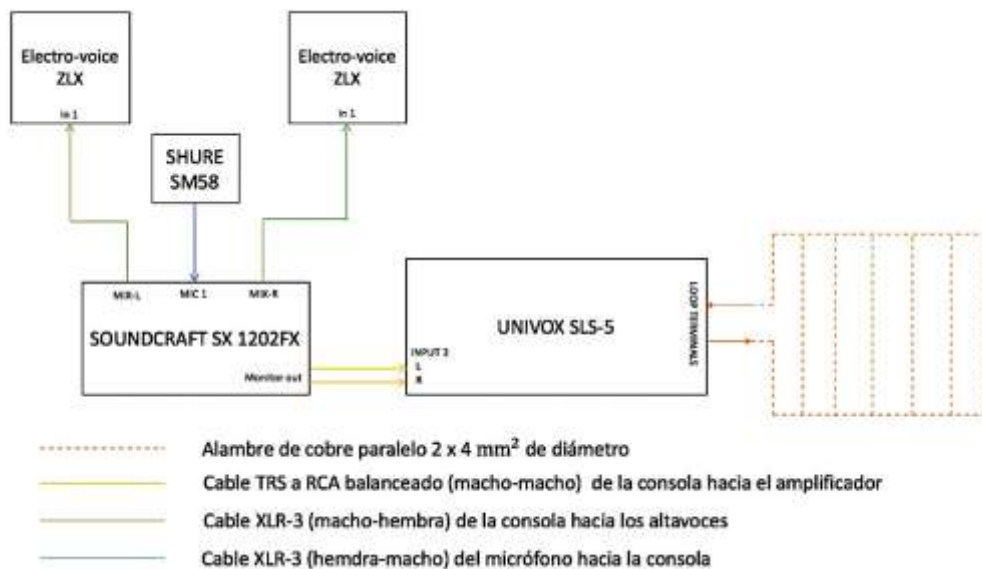


Figura 53. Cadena electroacústica, auditorio Querí

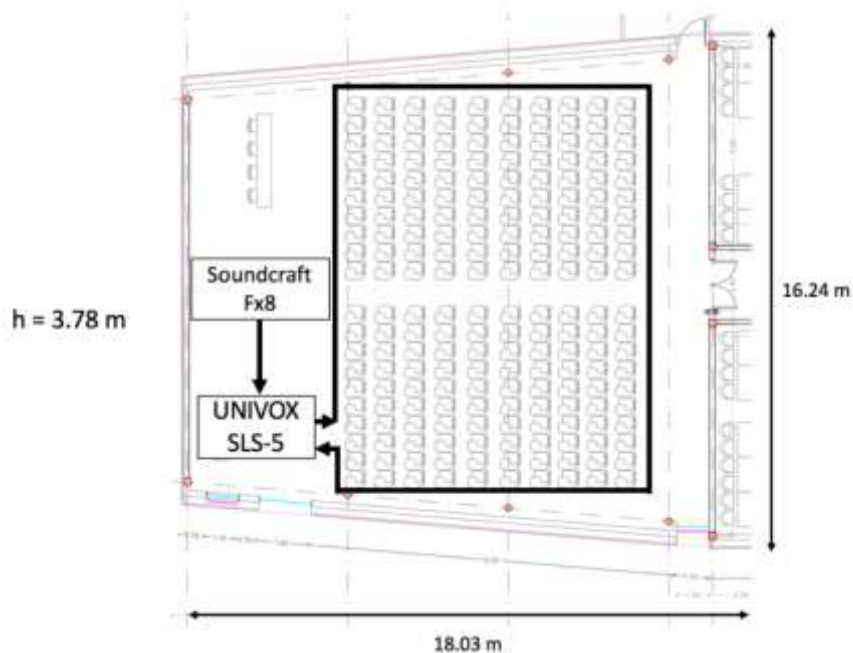


Figura 54. Posición del cable y equipos del auditorio Querí.

Tomado de: UDLA, 2019, p.7

#### 4. Análisis Económico

En este capítulo se explica los gastos que se realizó en los equipos y los que se debe realizar para poder implementar los sistemas en los auditorios de la Universidad de Las Américas. La mayor diferencia de gastos se debe al tipo de amplificador que se utiliza ya que varía su intensidad de corriente. A continuación, se presenta las tablas de gastos aproximados de cada diseño de los auditorios.

Tabla 7.

*Tabla de precios de la sala de uso múltiple*

<b>SALA DE USOS MÚLTIPLE</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Amplificador UNIVOX PLS-X5</b>	\$ 667,61
<b>Medidor de campo magnético FSM</b>	\$ 325,16
<b>Gastos de envío (España)</b>	\$ 22,37
<b>IVA de España (21%)</b>	\$ 213,19
<b>Rollo de cable paralelo de altavoces (2x4 mm<sup>2</sup>) de 100 metros</b>	\$ 134
<b>Envío España - Ecuador</b>	\$ 262,81
<b>Aranceles de aduana</b>	\$ 547,52
<b>Cinta Adhesiva</b>	\$ 20,5
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2193,16</b>

En la tabla 7 se observa el precio de cada equipo utilizado para armar el prototipo para la sala de usos múltiple. Para el prototipo se realizó la compra en España, ya que en el país no existe este tipo de instrumentación que se necesita para armar el bucle. Además, se buscó equipos que se manejen con la norma que se utiliza, por este motivo se optó por equipos de España.

El principal problema que se tiene para que el armado salga con precio tan alto es por el envío de España a Ecuador y todos los aranceles que se debe pagar,

así como a la empresa que se busca para que lo haga. Equipos de fácil acceso y económicos son la cinta adhesiva y el cable.

En las tablas 8, 9 y 10 se presenta una proforma aproximada de los gastos de la compra e implementación de los sistemas de los auditorios sin valores de envío.

No se coloca el valor de aranceles y envíos, ya que al no conocer el tamaño de las cajas en las que los equipos se encuentran esto podría variar mucho el precio, además el envío de otro país varía mucho con la empresa que se lo realiza, por estas razones no se tomaron en cuenta en el análisis, lo cual a estas tablas tenemos totales aproximados.

Tabla 8.

*Tabla de precios auditorio Granados.*

<b>AUDITORIO GRANADOS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Amplificador UNIVOX SLS-5</b>	<b>\$ 1663,84</b>
<b>Medidor de campo magnético FSM</b>	<b>\$ 325,16</b>
<b>Rollo de cable paralelo de altavoces (1x6 mm<sup>2</sup>) de 400 metros</b>	<b>\$ 347,28</b>
<b>Cinta adhesiva</b>	<b>\$ 20,5</b>
<b>TOTAL aprox.</b>	<b>\$ 2356,78</b>

Tabla 9.

*Tabla de precios auditorio Udlapark.*

<b>AUDITORIO UDLAPARK</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Amplificador UNIVOX PLS-X3</b>	<b>\$ 487,79</b>
<b>Medidor de campo magnético FSM</b>	<b>\$ 325,16</b>
<b>Rollo de cable paralelo de altavoces (2x1,5mm<sup>2</sup>) de 100 metros</b>	<b>\$ 61,21</b>
<b>Cinta adhesiva</b>	<b>\$ 20,5</b>
<b>TOTAL aprox.</b>	<b>\$ 894,66</b>

Tabla 10.

*Tabla de precios del auditorio Queri.*

<b>AUDITORIO QUERI</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
<b>Amplificador UNIVOX SLS-5</b>	<b>\$ 1663,84</b>
<b>Medidor de campo magnético FSM</b>	<b>\$ 325,16</b>
<b>Rollo de cable paralelo de altavoces (2x4 mm<sup>2</sup>) de 400 metros</b>	<b>\$ 347,28</b>
<b>Cinta adhesiva</b>	<b>\$ 20,5</b>
<b>TOTAL aprox.</b>	<b>\$ 2356,78</b>

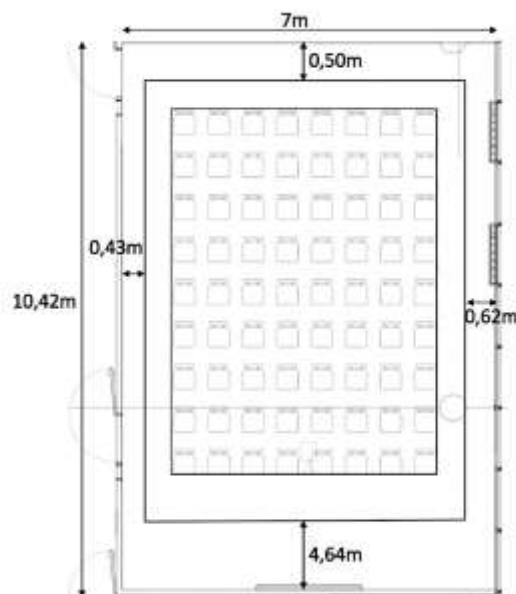
## **5. Resultados**

Se desarrolló la instalación del prototipo en el salón de uso múltiple de la Universidad de Las Américas sede Granados, para lo cual se utilizó 1 día para la instalación y 1 día para la medición y efectividad del sistema del bucle inductivo. A continuación, se explicará el proceso de la instalación del sistema de bucle inductivo y sus respectivos resultados.

Se tomó las dimensiones de la simulación realizada en la figura 37 (simulación del campo magnético), a partir de aquí se colocó el cableado para que se

genere el campo magnético. Cabe recalcar que el cable no puede estar tan cerca de las sillas de la sala ya que al momento que se genera el campo magnético, puede existir gran cantidad de pérdida de la intensidad ya que este se crea como una curva cóncava. Por esta razón se colocó alrededor de 0.5 metros de distancia del espacio del aforo; utilizando el FSM se pudo notar por las paredes de la sala existía ruido magnético, lo cual influye negativamente al campo magnético y se evitó en lo posible colocar el cableado cerca de las paredes.

A continuación, en la figura 55 se puede observar en vista de planta de cómo se colocó el cableado para el sistema de bucle inductivo, ya que existe una pequeña diferencia de distancias con respecto a la simulación teórica, pero la norma dice que es recomendable separar la mayor distancia posible de las superficies de ruido magnético.



*Figura 55.* Dimensiones y posición del cable, sala de usos múltiple.

Tomado de: UDLA, 2019, p.7

Después de haber colocado el cableado se procedió a buscar una locación factible para el amplificador, ya que si se colocaba en un sitio donde existe

ruido magnético, este afectará a la corriente del amplificador y por ende existirán pérdidas en el campo magnético.

El lugar más efectivo donde se colocó el amplificador fue al fondo del escenario, cercano a la esquina derecha. En este sector se pudo analizar que no existía interferencia magnética, a excepción de un cableado de audio que pasa por debajo del suelo. Si la conexión de este cable no se utiliza mientras que el amplificador funciona, no existiría pérdida en el sistema, pero, para solucionar este problema, el amplificador se situó a 1 metro de altura con respecto al suelo.

Para el prototipo se colocó dos tarimas debajo del amplificador para simular la altura adecuada donde no exista interferencia magnética, ya que no se podía instalar un rack en la pared de la sala de uso múltiple.

Como siguiente paso se procedió a interconectar el cableado con el amplificador, según la teoría existen varios tipos de conexiones entre el cable y el amplificador, la más recomendada y que se utilizó se la denomina 2T. En la figura 56 se puede apreciar en la parte izquierda como es la conexión de manera teórica, y en la parte derecha se observa cómo fue la conexión en este prototipo.

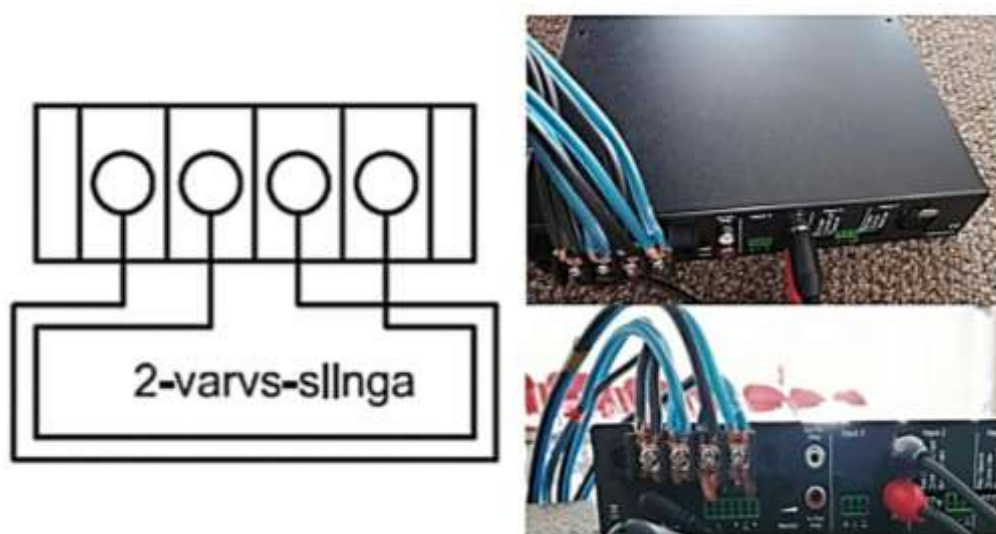
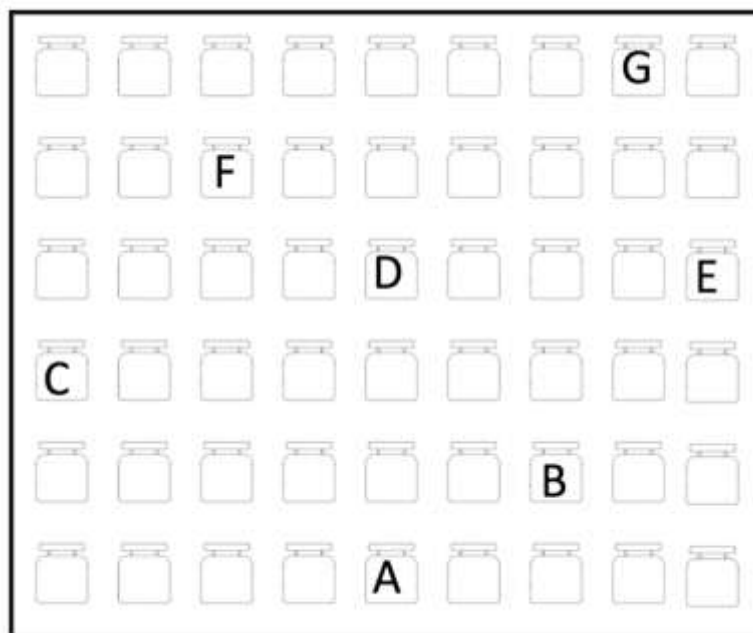


Figura 56. Conexión cable y equipo, Sala de usos múltiple.

Una vez que se ha realizado las conexiones entre el cable y el amplificador, se sigue la interconexión de la cadena electroacústica explicada en el apartado 3.

Ya funcionando todo el sistema, se observó que algunos equipos causaban problemas en el sistema de bucle inductivo, como son el altavoz y la consola. Por esta razón se procedió a realizar un cambio de equipos donde se utilizó la consola Soundcraft MPM y un altavoz JBL, que se especifican en los anexos.

Se procedió a colocar los puntos de medición donde posteriormente se realizará la prueba de funcionamiento y efectividad del bucle inductivo, la cual se puede observar en la figura 57. La norma no dice exactamente como realizar la medición solo te da algunos parámetros, como por ejemplo se debe medir en mínimo 5 puntos del recinto siendo los más representativos las esquinas y el centro, en este caso se escogió 7 puntos para conocer el nivel de campo magnético en todo el perímetro de la sala.



*Figura 57.* Posiciones de puntos de medición

Todos los puntos de medición se los colocó a 1,2 metros de distancia, simulando a una persona sentada, siendo 1,2 la altura donde se encuentran las

orejas, los puntos de medición se escogieron de manera aleatoria tal que estos puedan cubrir toda la superficie del bucle.

En las pruebas de la efectividad del sistema de bucle inductivo se utilizó el medidor de campo magnético, ruido de fondo y respuesta en frecuencia FSM de Ampetronic, el cual tiene una certificación de la norma UNE ISO 60118-4. El fabricante de este dispositivo facilita a los usuarios con una plantilla de medición estandarizada.

Para comprobar la efectividad y el funcionamiento del bucle inductivo se debe realizar tres tipos de mediciones: ruido de fondo, intensidad de campo magnético y respuesta en frecuencia. La norma recomienda que se utilice ruido rosa, señal sinusoidal a 1 kHz y una combinación entre ambas. Para este prototipo se utilizó la señal sinusoidal en el campo magnético y ruido rosa para la respuesta en frecuencia. La norma recomienda que el ruido de fondo vaya desde -47 dB hasta -32 dB, ya que si supera este rango de nivel el sistema tendrá muchas pérdidas por el ruido magnético. El ruido de fondo de la sala es alrededor de los -37 dB, esta medición se la realiza cuando el amplificador se encuentra apagado, según el fabricante se recomienda realizar la medición antes de interconectar la cadena electroacústica.

La primera medición se realizó con los parámetros del amplificador en estado nominal, tal como vino de fábrica; a este punto se lo denomino medición inicial. La otra medición se la realizó variando los parámetros como la corriente o el nivel de ganancia de entrada del amplificador, y esta medición se la denomino final.

Se realizó la medición del campo magnético y los datos del medidor FSM, entrega valores en decibelios siendo 0 dB (100 mA/m), el valor óptimo. En la tabla 11 se podrá apreciar los valores de las mediciones inicial y final.



Tabla 11.

*Medición campo magnético*

<b>Mediciones</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>Inicial (dB)</b>	+3	+3	+3	0	+3	+2	+4
<b>Final (dB)</b>	+2	+1	+1	-3	0	-1	+1

El rango óptimo donde el campo magnético es efectivo en +3 a -3 dB, pero no se debe sobrepasar los +12 dB. En la mayoría de los puntos el valor calculado es óptimo exceptuando el punto de medición G, ya que tiene un valor de +4 dB, esto significa que la intensidad de corriente es muy elevada en ese punto y esto puede generar una saturación al momento de captar el mensaje.

Para el cálculo de la respuesta en frecuencia se utilizó los mismos puntos de medición de la intensidad de campo magnético y en cada punto se midió las frecuencias de 100 Hz, 1 kHz y 5 kHz; en la tabla 8 se podrá observar los valores de las mediciones inicial y final que se obtuvieron.

Tabla 12. *Respuesta de frecuencia a 100 Hz, 1kHz y 5kHz.*

<b>Mediciones</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>Inicial (dB)</b>							
<b>100 Hz</b>	+3	+2	+1	+1	+2	+3	+2
<b>1 kHz</b>	+3	+2	+2	0	+2	+2	+3
<b>5 kHz</b>	-3	-5	-3	-9	-5	-5	-2
<b>Final (dB)</b>							
<b>100 Hz</b>	+2	0	-1	-2	-1	-1	0
<b>1 kHz</b>	+3	+1	+1	-2	+1	+1	+2
<b>5 kHz</b>	-1	-5	-3	-9	-5	-5	-2

Como se observa en la tabla existen algunos valores, los cuales no se encuentran en el rango óptimo como son en los 5 kHz, ya que existen valores de -5 dB y -9 dB; en estos puntos puede haber un poco de pérdida en estas frecuencias y no habrá tanta inteligibilidad como en otros puntos donde la

respuesta en frecuencia si se encuentra entre  $\pm 3$  dB. El motivo por el cual hay pérdida en frecuencias altas es porque existe abundante ruido magnético que enmascara el bucle inductivo, pero no en su totalidad, ya que los valores que van de -3 a -12 dB son valores aceptables para que el campo magnético funcione, ya que no son pérdidas tan significativas.

Comparando con la simulación de campo magnético de forma teórica se puede confirmar que existe similitud, entre ambos ya que en todo el perímetro de la sala el nivel es alrededor de + 3 dB; puede existir algunas diferencias en ciertos espacios del recinto y esto se debe por exceso de material metálico que afecta en la sala. En la figura 58 se puede observar el nivel de campo magnético de la medición teórica frente a la medición práctica.

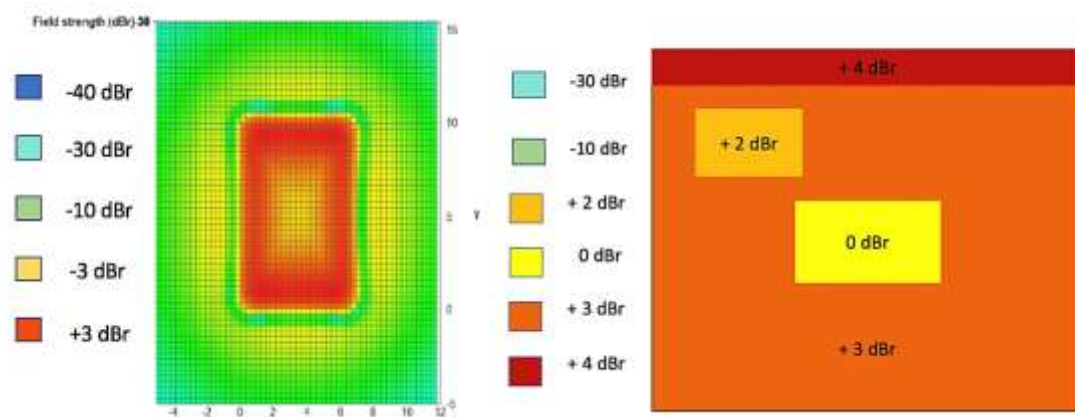


Figura 58. Campo magnético simulación teórica vs caso práctico.

Tomado de: *Software Univox Loop designer*, 2019, p.8

En la figura 59 se observa la plantilla estandarizada que se utilizó para realizar las mediciones, esta hoja es de la empresa Ampetronic, en la cual se gráfica las posiciones de medición, perímetro de la posición del sistema del bucle, también se determina la altura a la que se va a medir (1,2 o 1,7 metros), se mide campo magnético, respuesta de frecuencia, y se especifica los equipos usados.

# Certificate of Conformity



for AFILS according to IEC 60118-4:2006

Designed to be used in conjunction with the test and commissioning procedure

1	Volume of use 103,4 m <sup>3</sup>	Determine required area & height for hearing aid use		
		Seated only: <input checked="" type="checkbox"/>	Typical: 1.2m	Possible range: 1.0m to 1.4m
		Standing: <input type="checkbox"/>	Typical: 1.7m	Possible range: 1.0m to 2.0m



Determine 4 to 6 points (e.g. A to F) inside the floorplan to examine – center, corner, sides, front / back etc

Measurement point	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
height (in meters) =	1,2m	1,2m	1,2m	1,2m	1,2m	1,2m	1,2m			

2	Background noise	investigate the target coverage area for noise, and indicate any problem zones on the floorplan.	Areas >-22dB Areas >-32dB
---	------------------	--	------------------------------

3	Field strength	initial	+3	+3	+3	0	+3	+2	+4		
		final	+2	+1	+1	-3	0	-1	+1		

4	Frequency response		100Hz and 5kHz should be ±3dB relative to the 1kHz reading								
	initial	100Hz	+3	+2	+1	+1	+2	+3	+2		
		1kHz	+3	+2	+2	0	+2	+2	+3		
		5kHz	-3	-5	-3	-9	-5	-5	-2		
	final	100Hz	+2	0	-1	-2	-1	-1	0		
		1kHz	+3	+1	+1	-2	+1	+1	+2		
5kHz		-1	-5	-3	-9	-5	-5	-2			

5	Field strength confirm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
---	------------------------	---	---	---	---	---	---	---	--	--

6	Overspill	Is test required?	Yes	No	X					
---	-----------	-------------------	-----	----	---	--	--	--	--	--

7	System use	Amplificador	PLS-XS							
---	------------	--------------	--------	--	--	--	--	--	--	--

Customer: Universidad de las Américas	Installer Co: Andrés Báez	Equipment: PLS-XS, FSM
Venue: Av. Graciano y Colinas	Installer Name: Diego Montalvo	Serial No(s) RA0 0792
Room: Sala usos múltiple	Comments: La sala en sus paredes tenía cableado eléctrico, así como en el techo.	
Other details:		

Declaration that the system has been commissioned to achieve performance as required by IEC60118-4:2006.	Signed:	Dated: 29-Mayo-2019
--	---------	---------------------

DX30011-1

Figura 59. Hoja de medición de campo magnético.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

En un recinto destinado para palabra y música existen muchos factores, tanto del recinto como la calidad de audio, estos influyen a las personas con discapacidad auditiva que utilizan audífonos para este problema, sin embargo, se deben tener soluciones en el ámbito acústico y electroacústico para poder solventar dichos problemas. Las soluciones típicas que se suelen hacer son el aislamiento y acondicionamiento acústico del recinto. Debido a su alto costo y poco conocimiento del tema se generan otras soluciones más viables, una de estas es el diseño de un sistema de bucle inductivo.

Se diseñó un sistema electroacústico para los auditorios de la Universidad de Las Américas enfocado a personas con problemas auditivos que utilizan aparatos cocleares y audífonos mediante bucles inductivos, aplicando las normas UNE-EN IEC 60118-4:2016/A1:2018 y UNE-EN 62489-1:2010, cada cadena varía respecto al auditorio ya que para el diseño se observó los equipos electrónicos que tienen los recintos como son: el tipo de consola, sistema de PA (*public address*), micrófonos, cables. Además, se aumenta a la cadena electroacústica el cable conductor que genera el campo magnético y se añade el amplificador de bucle inductivo, en este caso todos los amplificadores utilizados son de la marca Univox por lo que tiene las misma entradas y salidas, en lo único que varían son es sus parámetros técnicos como por ejemplo la intensidad de corriente. Se utilizó los equipos de Univox ya que no hay gran variedad en marcas, y esta junto con Ampetronic son las que lideran en el mercado.

Se recopiló datos estructurales y acústicos de los auditorios de la Universidad de Las Américas, donde se obtuvo los materiales que constaban en los recintos con el fin de conocer el porcentaje de material magnético y eléctrico que existe en los auditorios además de las dimensiones de las salas para conocer el posicionamiento del perímetro del sistema de bucle inductivo deseado en cada auditorio, ya conociendo dimensiones y porcentaje de ruido magnético y

eléctrico se puede saber que amplificador y que tipo de cable se utilizará en cada auditorio ya que el ruido por material magnético y eléctrico es un parámetro que afectará al sistema.

En la sala de uso múltiple se implementó un prototipo de sistema de bucle inductivo, en el cual se realizó un estudio previo del recinto, donde refleja un gran porcentaje de material metálico, así como de cableado eléctrico, las cuales se encuentran presente en el ruido de fondo de la sala. El diseño que se tomó para el prototipo fue el caso A, debido a la mayor intensidad de campo magnético que produce el amplificador seleccionado y la forma de ubicación del cable, ya que abarca más superficie de público sin importar la ubicación de las butacas dentro del perímetro. A partir de esto se cambió la posición del elemento conductor, separando de las superficies laterales del diseño original; se concluye que el elemento conductor del bucle inductivo mientras más cerca se encuentre del cableado eléctrico propio de la sala se produce un campo magnético con un nivel entre -7 dB y -17 dB; donde la intensidad de campo magnético es muy baja y predomina mucho el ruido de fondo.

El sistema de bucle inductivo debe tener una buena inteligibilidad de palabra y existen dos parámetros que pueden afectar al sistema en su inteligibilidad; el primero es, el ruido magnético y eléctrico ya que afecta a todo el rango de frecuencia que posee el amplificador, el otro factor se da por la longitud del cable, el cual se debe tener mucho cuidado ya que si la longitud del cable es muy grande la resistencia aumenta, y no va a permitir pasar la suficiente corriente por el sistema, para solucionar esto se utilizó la menor cantidad de cable, ya que se colocó lo más próximo a las butacas, teniendo que si está muy cerca de las misma se va a perder intensidad de campo magnético en las butacas que se encuentran cerca del cableado.

De acuerdo a la simulación teórica que se realizó del campo magnético total de la sala, se esperaba resultados semejantes con respecto al diseño teórico y como se observó en la figura 58 se asemeja los dos diagramas de nivel e intensidad de campo magnético, salvo en ciertos puntos de la sala donde el diseño práctico es mayor y en otras ocasiones es menor, pero esto se debe por

el ruido de fondo que existe en la sala o en todo caso el exceso nivel de corriente que se envió por el perímetro del cable. Esto se solventa con el control de nivel de corriente que se envía desde el amplificador.

Un factor muy importante que se tomó en cuenta en la elaboración del prototipo es la posición y ubicación del amplificador ya que si se sitúa cerca de aparatos electrónicos o superficies con ruido eléctrico o electrónico puede que el ruido de estos aparatos afecte al amplificador, de una manera negativa, teniendo así pérdida de corriente al inicio del sistema.

En el diseño teórico del auditorio Granados se enfoca en otra configuración de sistema de bucle ya que el espacio donde se decidió colocar el perímetro del cable es muy grande a comparación de la sala de uso múltiple por lo que se coloca otro tipo de amplificador para obtener mayor nivel de corriente para suministrar en el perímetro del bucle, en el caso del cableado para solucionar las pérdidas de campo magnético en el centro se entrelazan los cables uno con otro, esta configuración de conexión se denomina *array* eficiente. Este entrelazado mejora estas pérdidas para que no genere un efecto peine en los niveles de intensidad.

En el auditorio Udlapark se tiene la dificultad de montar el sistema, porque no se puede generar un perímetro alrededor de todas las butacas, estas se encuentran muy cercanas a las paredes, en el caso de colocar el cableado en todo el perímetro de las butacas, el sistema no hubiera funcionado, ya que predominaría el ruido de fondo de la sala por el exceso de ruido magnético y eléctrico que existe en ella. Para solucionar este problema se seleccionó un determinado número de butacas donde se pueda diseñar un sistema óptimo, el lugar que mejor respondió es la parte de las butacas del medio las últimas 6 filas, por lo que se realizó en ese sitio el diseño teórico, donde la respuesta de nivel de campo magnético fue óptimo ya que en todos los puntos de la sala los niveles están entre los 0 y +3 dB.

Finalmente, los amplificadores para realizar los diseños y prototipos de bucles inductivos son de alto costo por lo que se necesita de un presupuesto mínimo

de mil dólares para poder realizar todo un sistema de bucle, ya que no se los fabrica en el país, por lo cual se importa y el costo de aranceles varía según peso y tamaño del producto. Por otro lado, los demás elementos son de fácil acceso tanto en precio y cantidad.

## **6.2. Recomendaciones**

Es recomendable utilizar equipos de una misma marca ya que cada empresa de fabricantes de equipos de sistemas de bucle inductivo tiene su propia calibración, como en el caso de Univox que fue la marca usada para el desarrollo del sistema, el fabricante recomienda que se utilice equipos de la misma marca para que exista una mayor efectividad en el diseño y en la medición. En el caso de que se ocupe distintos equipos si se rigen a las normas antes ya mencionadas no existirá problemas de pérdidas.

En el caso que el recinto no esté en condiciones para el diseño de sistema de bucle inductivo se recomienda no montarlo, ya que las personas que se encuentren en el sitio captarán ruido magnético que puede fatigar al oído humano si se somete a un tiempo prolongado, y en vez de que el sistema ayude al oyente lo perjudicaría aún más. Lo primero que se debe hacer es aislar el ruido magnético de la sala, disminuyendo la cantidad de equipos eléctricos que interfieran.

Antes de diseñar el sistema se debe tener en cuenta que el posicionamiento del cable no debe estar cerca de los altavoces del sistema de audio del recinto ya que esto producirá desfases al momento que el audífono del oyente capte con la tele bobina, en el caso que se deba usar equipos electrónicos para una charla o conferencia se debe aumentar el nivel de intensidad de campo magnético sin que se sature, para que así no tenga efecto el ruido de fondo al momento de que el audífono capte el campo magnético.

En el caso de que el sistema esté montado en el recinto, se recomienda que, si existen varias personas que utilizan el bucle inductivo, no tengan prendidos sus

aparatos electrónicos como son celulares, *tablets*, computadores. Ya que estos aparatos interferirán con el campo magnético, y hará que aumente el ruido de fondo de la sala por lo que no existirá un buen nivel de campo magnético.

El sistema de bucle se recomienda para la traducción simultánea, se trata de un proceso de traducción durante el cual un intérprete reproduce en otro idioma el discurso de una persona de manera simultánea.

Además, se recomienda la implementación de estos sistemas ya que es un proceso de inclusión para personas con discapacidad auditiva en la sociedad no explotado en el país.

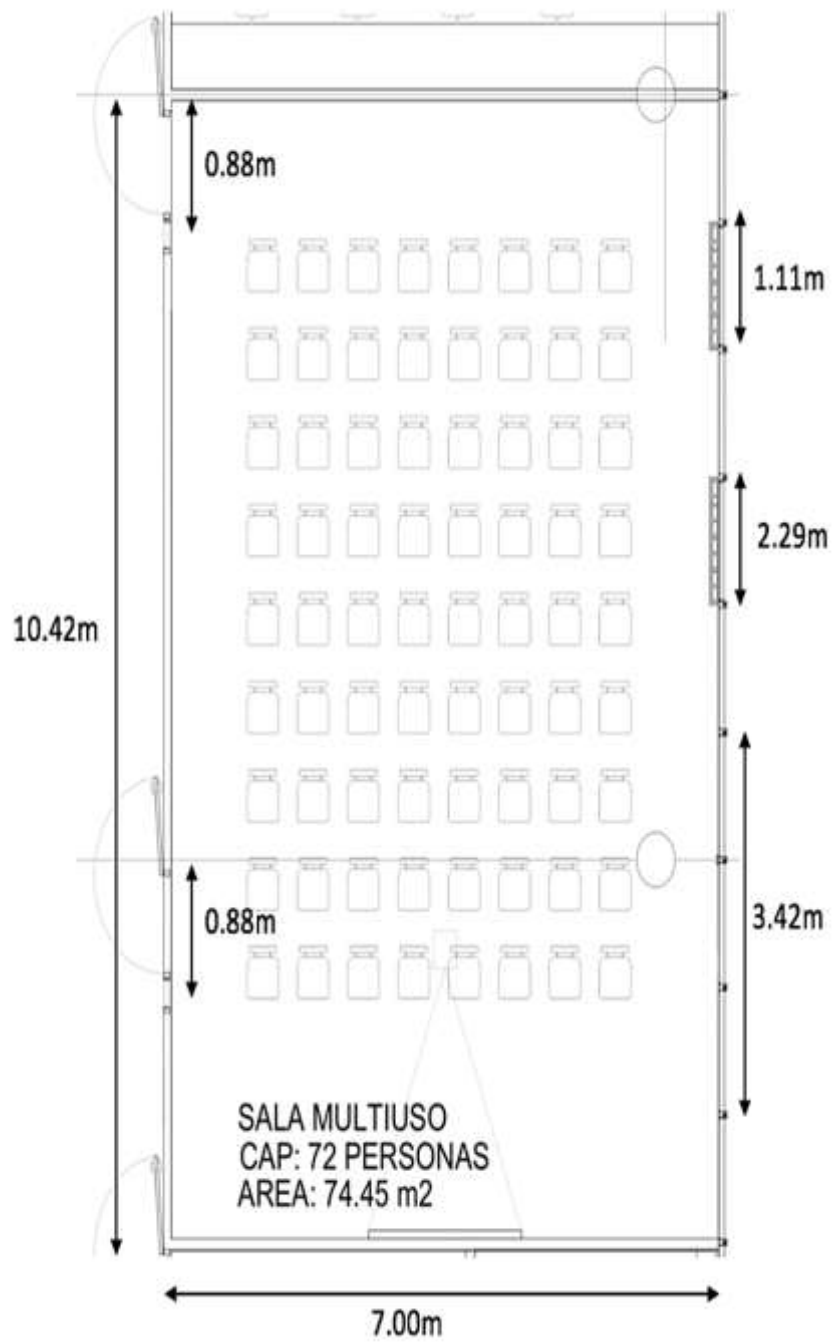


## REFERENCIAS

- Brixen, Bogh. E, Voetmann. J, 2013, Electroacústica práctica, Editorial Tébar Flores.
- Browarsky, D. Martín, M. (2005). Implantes cocleares: historia y estrategias. Recuperado el 15 de abril del 2019 de <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario2005/monografias2005/David.pdf>.
- Domingo, Robert Barti. *Acústica Medioambiental*. Editorial Club Universitario, 2010. *Fundamentos Del Control De Ruido y Vibraciones*. Tormes S.L. (Editorial Índex), 1978.
- Esteban. (2017). *Audífonos digitales*. Recuperado el 17 de abril del 2019 de <https://audifonosdigitales.net/historia-audifonos-para-sordos/>
- Gerges. S, (1992), *Ruido: Fundamentos e Controle*. Santa Catarina, Brasil: Universidad Federal De Santa Catarina.
- IEC 60268-8, Sound system equipment. Part 8: Automatic gain control devices.
- IEC 60065, Audio, video and similar electronic apparatus. Safety requirements.
- NIDCD. (2013). *Audífonos*. Recuperado el 15 de abril del 2019 de <https://www.nidcd.nih.gov/sites/default/files/Documents/health/spanish/hearingaids-spanish.pdf>
- Univox. (2016). PLS-X5: Controlador de bucle adecuado para salas de conferencia, auditorio, iglesias, áreas de puerta y salas más grandes. Recuperado el 2 de mayo del 2019 de <https://univox.eu/product/pls-x5/>.
- Univox. (2016). SLS-5: Serie clase D Tech: Controlador de bucle para sistemas de matriz en fase. Recuperado el 2 de mayo del 2019 de <https://univox.eu/product/sls-5/>.
- Univox.eu. (2015). Loop Designer 2.0. Recuperado el 3 de mayo del 2019 de <http://www.univoxloopdesign.org/>.
- Zenker, F. (2004). Ayudas técnicas para personas con discapacidad auditiva. Islas Canarias, España: Clínicas Barajas.
- UNE-EN IEC 60118-4:2016/A1. (2018). Sistemas de bucles de inducción para audífonos. Requisitos de funcionamiento del sistema. Recuperado el

10 de abril del 2019 de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060109>.

UNE-EN 62489-1, (2011), Sistemas de bucle de inducción para audiofrecuencia en audición asistida. Parte 1: Métodos de medida y especificación del funcionamiento de los componentes del sistema. Recuperado el 10 de abril del 2019 de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0046763>.

**ANEXOS****Sala de usos múltiples de la Universidad de Las Américas**



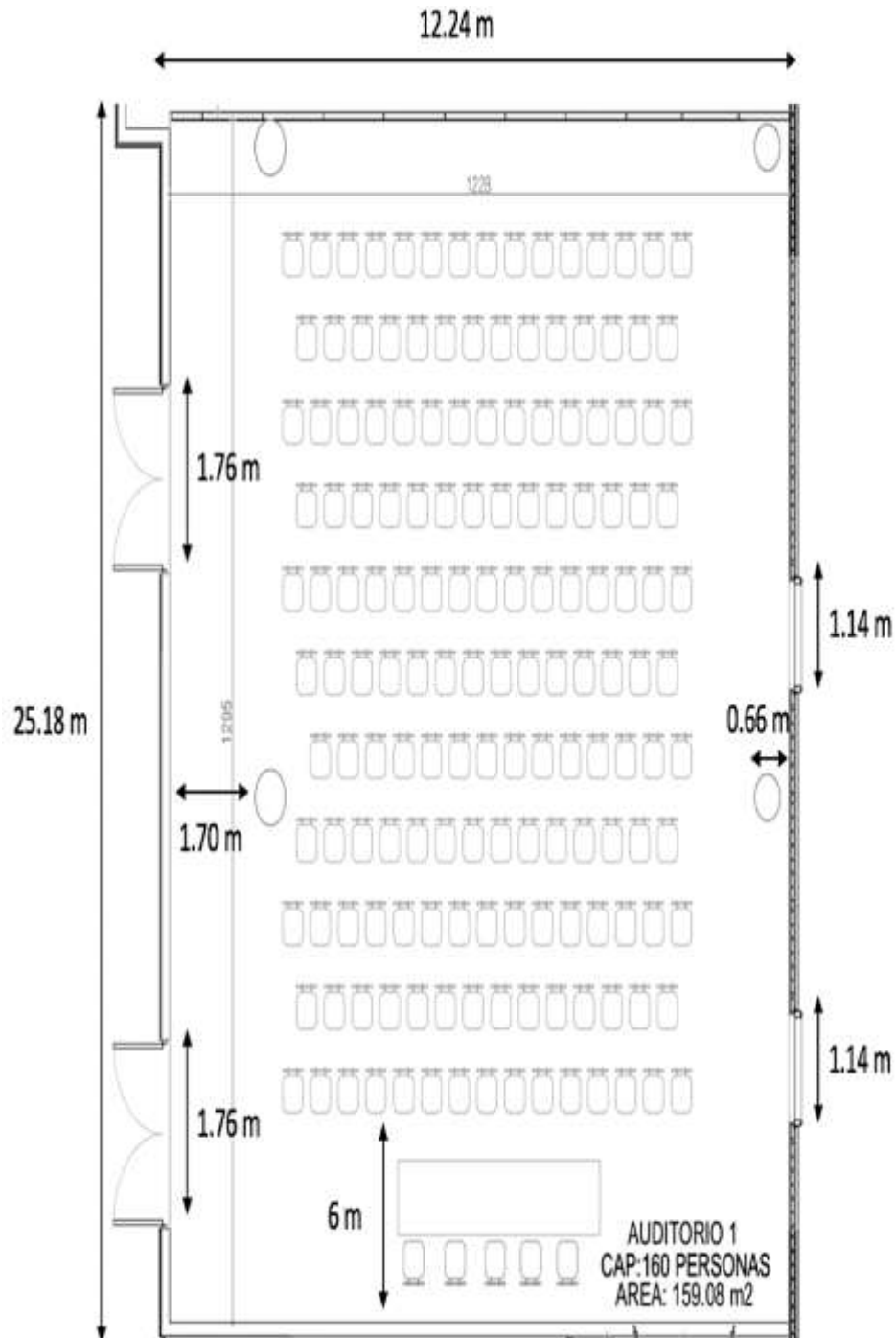
Sala de uso múltiple vista desde la posición del orador.



Sala de uso múltiple vista desde la segunda puerta de entrada.

## Características técnicas del amplificador UNIVOX PLS-X5

Technical data	
<b>Induction Loop Output RMS 125 ms</b>	
Max Drive Voltage	36.5 Vpp/12.9 Vrms
Max Drive Current	9.5 Arms
<b>Power</b>	
Power supply	110-240 VAC primary switched class VI electronic power supply
<b>Back panel interface</b>	
Input 1	Balanced XLR Programmable Bass Cut Filter@150 Hz - Speech/Flat, Line/Mic, Phantom Power +12 VDC On/Off Sensitivity: -50 dBu (2.5 mVrms) to +10 dBu (2.6 Vrms)
Input 2	Balanced Phoenix Screw Terminal Block Dip switch programmable: Low Cut Filter@150 Hz - Flat/Speech; line/50-100V connection On/Off; Override On/Off (Input 3 signals higher than -6 dB above AGC-knee overrides all other input signals) Line sensitivity: -15 dBu (50 mVrms) to +20.6 dBu (8.3 Vrms)
Input 3	Unbalanced RCA and Phoenix Screw Terminal Block Sensitivity: -24 dBu (30 mVrms) to +16.2 dBu (5 Vrms)
Out Pre-amplifier	Buffered output to connect multiple drivers
In Power-amplifier	Input for connectiong multiple drivers
Monitor control	Recessed trim potentiometer for 10W speaker and 3.5mm front panel headphone output
Monitor connection	Phoenix Screw Terminal Block 10W speaker monitor output; 24V power output; Remote LED diagnostic output
<b>Front panel interface</b>	
Input 1-3	4 LED indicators (-18 dB to +12 dB), recessed trim potentiometers
Metal loss control	Switchable frequency knee point (100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz) Adjustable gain slope from 0 to 4 dB/octave
System Diagnosis	Checks Input connection, AGC, Pre and Power driver and Loop conductor with a pulsed 1 kHz signal (built in signal generator) On/Off switch to operate system, single LED indication
Loop Current Control	Recessed trim pot; 4 LED output level indicator (0-9dB)
Peak / Clipping	LED indicates if signal is peaking/clipping
Monitor	3.5 mm jack to monitor loop with headset
Power indicator	LED indicates correct power connection
<b>Other Systems and Functions</b>	
Frequency response	75-6800 Hz
Distortion	< 1%
Dual Action AGC	Dynamic Range: > 50-70 dB (+1.5 dB) Attack time: 2-500 ms, Release time: 0.5-20 dB/s
Cooling	Internal cooling element
<b>Physical</b>	
Size	½ width 1U 19" rack mount Width 210 mm, Depth 255 mm, Height 44 mm
Mounting options	1U 19" rack mount (brackets included); Wallmounted or Freestanding
Weight	1.5 kg
Weight incl. power supply and box	2.65 kg
<b>Part No</b>	217500
Product is designed to meet the system requirements of IEC60118-4, when correctly designed, installed, commissioned and maintained. Specification data complied according to IEC62489-1.	

**Auditorio Granados de la Universidad de Las Américas**



Auditorio Granados vista desde las ventanas.



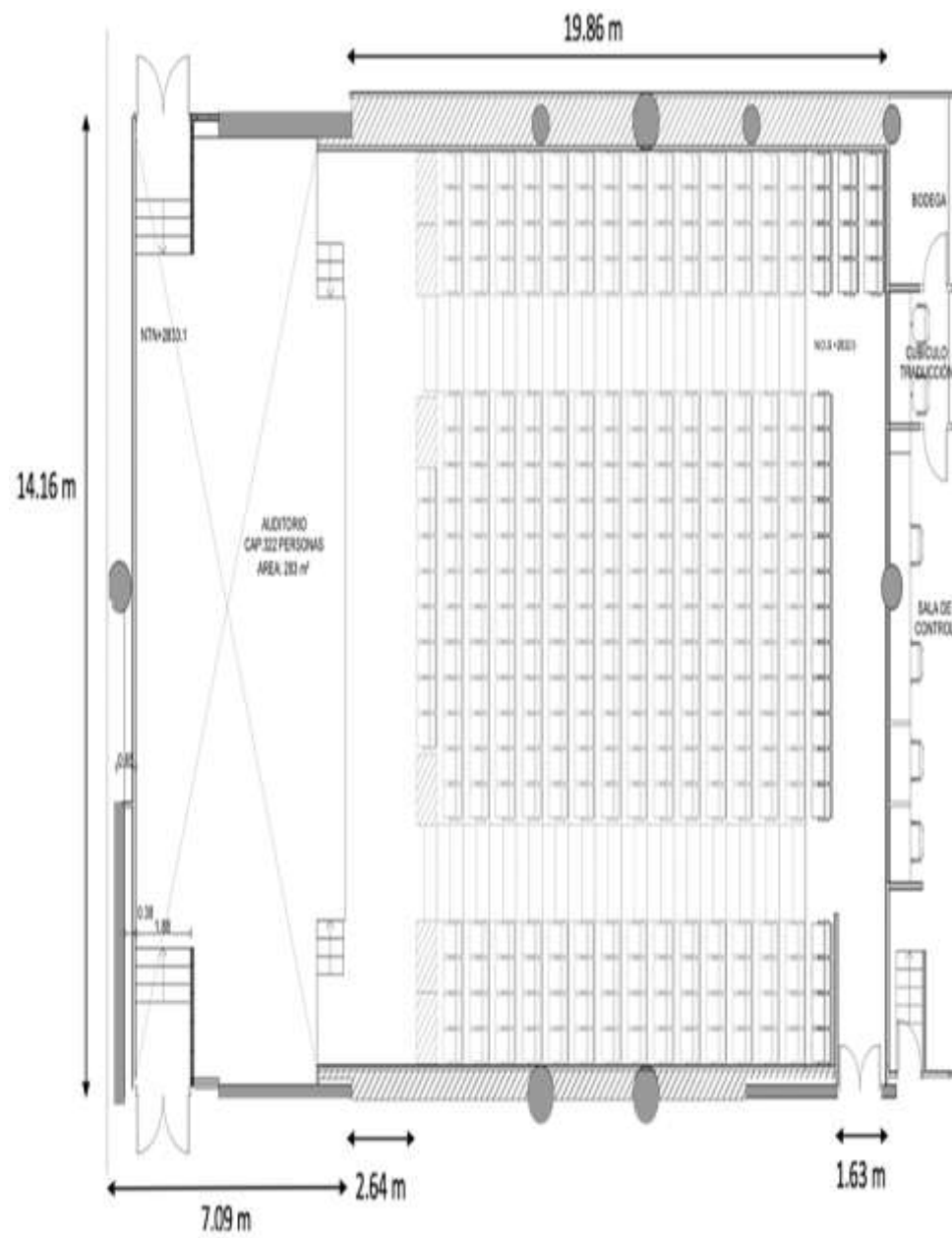
Auditorio Granados vista desde la puerta de ingreso.

## Características técnicas del amplificador UNIVOX SLS-5

	Univox SLS-1	Univox SLS-3	Univox SLS-5
<b>Induction Loop Output RMS 125ms</b>			
Max Drive Voltage	27Vpp/9.6Vrms	38Vpp/13.5Vrms	50Vpp /17.7Vrms
Max Drive Current, each channel	2 x 4,5Arms	2 x 6Arms	2 x 7.5Arms
Peak current using (EHIMA) speech	2 x 10.6App	2 x 15App	2 x 18App
<b>Power</b>			
Power supply	110-240VAC primary switched class VI electronic power supply; Enhanced power connection with 4-pin DIN power connector		
<b>Back panel interface</b>			
Input 1	Balanced XLR Dip switch programmable: Low Cut Filter@150Hz - Flat/Speech; Line/Mic; Phantom Power +12VDC On/Off Sensitivity: -55dBu (1.5 mVrms) to +10dBu (2.6Vrms)		
Input 2	Balanced Phoenix Screw Terminal Block Dip switch programmable: Low Cut Filter@150Hz - Flat/Speech; line/50-100V connection On/Off; Override On/Off (Input 3 signals higher than -6dB above AGC-knee overrides all other input signals) Line sensitivity: -15dBu (50mVrms) to +20.6dBu (8.3Vrms)		
Input 3	Unbalanced RCA or Phoenix Screw Terminal Block Sensitivity: -24dBu (30mVrms) to +16.2dBu (5Vrms)		
Monitor control	Recessed trim potentiometer for 10W speaker and 3.5mm front panel headphone output		
Monitor connection	Phoenix Screw Terminal Block Speaker monitor output; 24V power output; Remote computer or LED diagnostic output		
<b>Front panel interface</b>			
Input 1-3	Recessed trim pots; 4 LED input level indicator (-18dB to +12dB)		
Parametric Metal Loss Control	Recessed trim pot, adjustable gain slope from 0 to 4dB/octave; Switchable frequency knee point (100Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz)		
System Diagnostics	Checks Input connection, AGC, Pre and Power driver and Loop conductor with a pulsed 1.6kHz signal (built-in signal generator) On/Off switch to operate system, single LED indication		
Loop Current Control	Recessed trim pot; 4 LED output level indicator (0-9dB)		
Peak indicator	LED indicates clipping due to voltage saturation		
Monitor output	3.5mm jack to monitor loop with headphones		
Power indicator	LED indicates correct connection to power supply		
<b>Other Systems and Functions</b>			
Frequency response	75-6800Hz		
Distortion, Power Loop Driver	< 0.05%		
Distortion, system	< 0.15%		
Dual Action AGC	Dynamic Range: > 50-70dB (+1.5dB) Attack time: 2-500ms, Release time: 0.5-20dB/s		
Cooling	Fan free convection cooling (chassis cooling)		
IP class	IP20		
<b>Physical</b>			
Size	1U/19" rack mount Width 430mm, Depth 150mm, Height 44mm (incl. rubber feet)		
Weight (net/gross)	1.9/2.65kg	1.9/3.55kg	
Mounting options	Rack mount (brackets included), wall mount or freestanding (rubber feet pre-mounted)		
<b>Part No</b>	221000	223000	225000
Product is designed to meet the system requirements of IEC60118-4, when correctly designed, installed, commissioned and maintained. Specification data compiled according to IEC62489-1.			

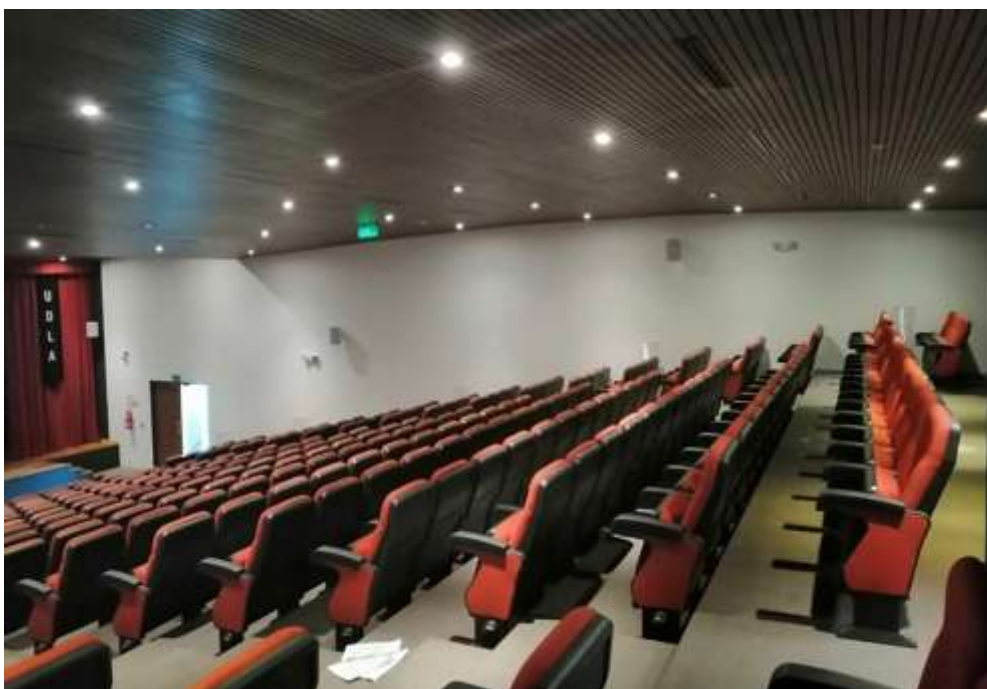


## Auditorio UDLA Park

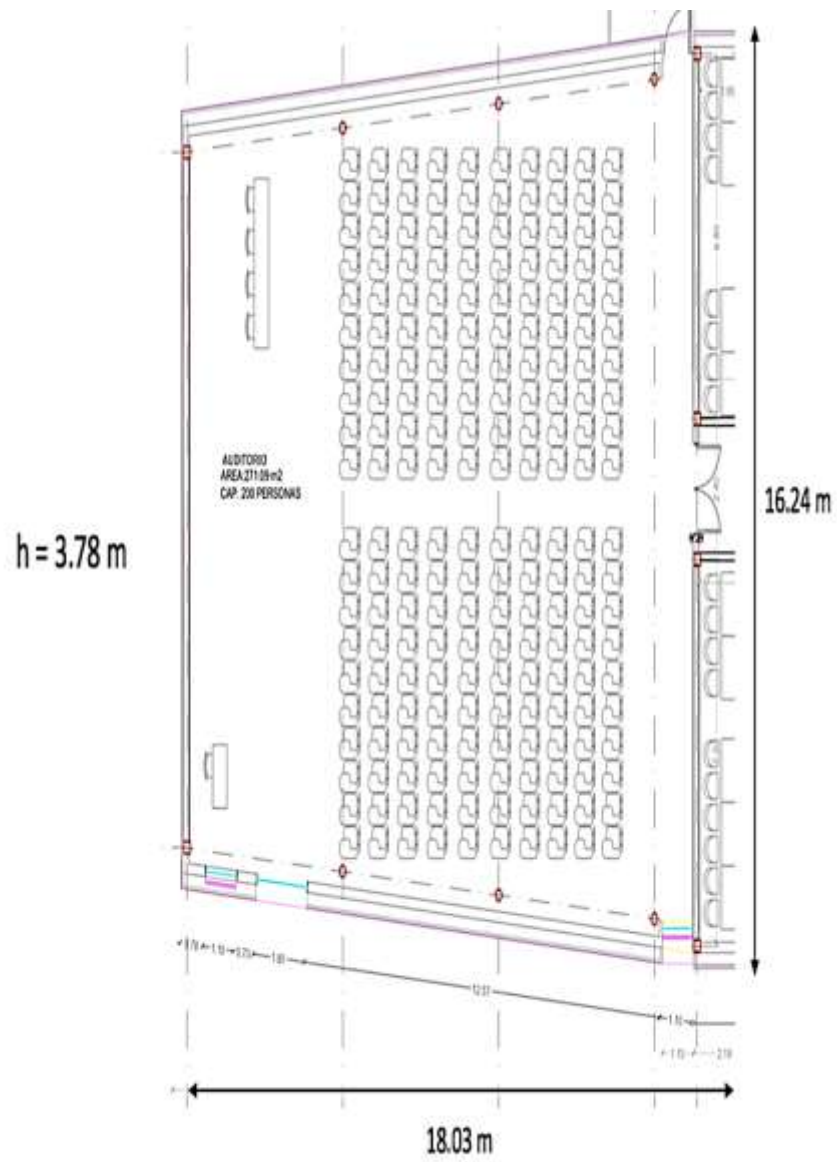




Auditorio Granados vista esquina superior derecha.



Auditorio Udlapark vista desde la puerta de ingreso superior.

**Auditorio Queri de la Universidad de Las Américas**



### Datos teóricos calculados de todos los auditorios

<b>Datos calculados sala de uso múltiple</b>	
<b>Bucle inductivo</b>	
<b>Largo</b>	6 [m]
<b>Ancho</b>	5 [m]
<b>Altura</b>	2.75 [m]
<b>Diámetro</b>	7.81 [m]
<b>Perímetro</b>	22 [m]
<b>Superficie</b>	30 [m <sup>2</sup> ]
<b>Intensidad de campo (H<sub>REC</sub>)</b>	99.84 [mA/m]
<b>Corriente (I)</b>	299.61 [mA]
<b>Resistencia (R)</b>	1.03 [Ω]
<b>Inductancia (L)</b>	48 [μH]
<b>Cable</b>	
<b>Resistividad (ρ)</b>	0.000171 [Ω*m <sup>2</sup> ]
<b>Área del conductor (a)</b>	0.04 [m <sup>2</sup> ]
<b>Sección del cable (q)</b>	7.40 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistencia (r)</b>	0.51 [Ω]
<b>Longitud (l)</b>	60 [m]

<b>Datos calculados auditorio Granados</b>	
<b>Bucle inductivo</b>	
<b>Largo</b>	18.18 [m]
<b>Ancho</b>	9.54 [m]
<b>Altura</b>	4.15 [m]
<b>Diámetro</b>	20.53 [m]
<b>Perímetro</b>	55.44 [m]
<b>Superficie</b>	173.44 [m <sup>2</sup> ]
<b>Intensidad de campo (H<sub>REC</sub>)</b>	99.84 [mA/m]
<b>Corriente (I)</b>	329.45 [mA]
<b>Resistencia (R)</b>	0.21 [Ω]
<b>Inductancia (L)</b>	145.44 [μH]
<b>Cable</b>	
<b>Resistividad (ρ)</b>	0.000171 [Ω*m <sup>2</sup> ]
<b>Área del conductor (a)</b>	0.06 [m <sup>2</sup> ]
<b>Sección del cable (q)</b>	18.46 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistencia (r)</b>	4.73 [Ω]
<b>Longitud (l)</b>	414.56 [m]

<b>Datos calculados auditorio Udlapark</b>	
<b>Bucle inductivo</b>	
<b>Largo</b>	10 [m]
<b>Ancho</b>	8.86 [m]
<b>Altura</b>	5.55 [m]
<b>Diámetro</b>	13.36 [m]
<b>Perímetro</b>	37.72 [m]
<b>Superficie</b>	88.60 [m <sup>2</sup> ]
<b>Intensidad de campo (H<sub>REC</sub>)</b>	99.84 [mA/m]
<b>Corriente (I)</b>	258.63 [mA]
<b>Resistencia (R)</b>	0.46 [Ω]
<b>Inductancia (L)</b>	80 [μH]
<b>Cable</b>	
<b>Resistividad (ρ)</b>	0.000171 [Ω*m <sup>2</sup> ]
<b>Área del conductor (a)</b>	0.015 [m <sup>2</sup> ]
<b>Sección del cable (q)</b>	5,71 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistencia (r)</b>	4.40 [Ω]
<b>Longitud (l)</b>	96.54 [m]

<b>Datos calculados auditorio Queri</b>	
<b>Bucle inductivo</b>	
<b>Largo</b>	10.03 [m]
<b>Ancho</b>	12.18 [m]
<b>Altura</b>	3.78 [m]
<b>Diámetro</b>	15.78 [m]
<b>Perímetro</b>	44.42 [m]
<b>Superficie</b>	122.17 [m <sup>2</sup> ]
<b>Intensidad de campo (H<sub>REC</sub>)</b>	99.84 [mA/m]
<b>Corriente (I)</b>	301.96 [mA]
<b>Resistencia (R)</b>	0.17 [Ω]
<b>Inductancia (L)</b>	80.24 [μH]
<b>Cable</b>	
<b>Resistividad (ρ)</b>	0.000171 [Ω*m <sup>2</sup> ]
<b>Área del conductor (a)</b>	0.04 [m <sup>2</sup> ]
<b>Sección del cable (q)</b>	17.87 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistencia (r)</b>	6.59 [Ω]
<b>Longitud (l)</b>	385.38 [m]



## Fotos del prototipo en el salón de uso múltiple



Univox PLS-X5 conectado y simulando que se coloca en el rack a 1 metro del suelo.



Consola Soundcraft utilizada para el diseño del prototipo.



Vista desde el escenario del perímetro del cable.



Vista de la puerta trasera del posicionamiento del bucle.



Configuración de nivel de corriente para el sistema de bucle inductivo.



Colocación de cables RCA que van de la consola hacia el amplificador.



Pruebas con el medidor de campo magnético.



Salida de la consola hacia el amplificador.

