



# **Estudio Acústico de la sala del Parque de Estudio y Reflexión Los Manantiales**

Justo Andrés Concha

Octubre 2025



## INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULOS	PAG
1. Introducción	3
1.1 Presentación del tema	3
1.2 Problematicación	3
1.3 Objetivos del trabajo	5
1.4 Alcances del estudio	5
2. Los parques de estudio y reflexión	5
2.1 Parque de estudio y reflexión Los Manantiales	7
2.2 Diseño de la sala	8
3. El sonido	10
3.1 Características básicas del sonido	11
3.2 Propiedades del sonido	12
3.3 La reverberación	14
3.4 Ruido	15
3.5 La audición	16
3.5.1 Efecto de procedencia	17
3.5.2 Respuesta de frecuencia del oído humano	18
3.6 Audición como fenómeno del psiquismo humano	19
3.7 Inteligibilidad de la palabra	21
4. Presentación y análisis de resultados	21
4.1 Dimensiones de la sala	22
4.2 Análisis de reflexiones	23
4.3 Relación del sonido con otros tipos de energía	31
4.4 resultados de la medición de tiempo de reverberación	34
4.5 Distribución sonora	37
4.6 Nivel de ruido de fondo	40
4.7 Evaluación de la inteligibilidad de la palabra	41
5. Conclusiones	42
Referencias bibliográficas	44



## 1. Introducción

### 1.1 Presentación del tema

Los Parques de Estudio y Reflexión son espacios destinados, como su nombre lo dice, a estudiar y reflexionar acerca de los temas fundamentales de la vida y de la especie humana. Han sido construidos e implementados en diversos lugares del Mundo por personas y organismos relacionados con la Escuela Siloista.

Los Parques poseen dependencias propicias para el estudio tales como el Centro de trabajo, el Centro de estudio y varios elementos simbólicos inspirados en distintos elementos propios de diversas culturas. Tales son el portal, las estelas, la fuente de agua y el monolito.

Uno de los elementos centrales de los parques es su sala de meditación y ceremonias. Es una construcción muy particular con cuatro entradas que representan los cuatro caminos hacia la experiencia de lo profundo. Estos son la materia, la energía, la mente y la forma.

Las salas se caracterizan por ser espacios neutros, sin mayor decoración que geométricamente están constituidas por una esfera truncada. Una de las particularidades es el sinnúmero de reflexiones sonoras que se producen en el interior dando distintas sensaciones tales como que las voces se sientan dentro de la cabeza.

Hacer un estudio acústico consiste en caracterizar el comportamiento del sonido en un recinto, a partir de las propiedades arquitectónicas de la sala como su geometría y materialidad. Para ello es necesario hacer mediciones acústicas utilizando parámetros como el tiempo de reverberación, el ruido de fondo, las frecuencias de resonancia y la distribución energética.

### 1.2 Problemатización

El sonido es una onda mecánica que se propaga en un medio elástico y que genera una sensación auditiva en el ser humano. El sonido es muy importante para la vida humana. A partir de él, los seres humanos se ubican geográfica y espacialmente, reconociendo la multiplicidad de elementos que constituyen el medio externo en el que se mueven. Es fundamental como sistema de alerta, debido a que el ser humano puede escuchar sonidos generados por fuentes que no están dentro de su campo visual, muchos de los cuales pueden significar algún riesgo para su integridad física. Pero, sin duda que una de las funciones más importantes del sonido es permitir la comunicación entre las personas. A través de miles de siglos de evolución, la especie humana ha creado códigos que le permiten comunicarse unos a otros a través de su sistema fonético. Las cuerdas vocales generan sonidos, el tracto vocal le da forma a las ondas de tal forma que los sonidos se diferencian a partir de los significados que se han ido construyendo en el proceso evolutivo mencionado anteriormente. Esos sonidos salen por la boca de las personas y se transmiten, principalmente a través del aire, llegando al sistema auditivo de otra persona que las



percibe y le da la interpretación cultural que ha aprendido. Pero, cuando una persona escucha el sonido de la palabra emitida por otra, no sólo corresponde a la onda emitida desde el emisor, sino que esa onda se ha propagado en distintas direcciones, reflejándose en paredes, difractándose en obstáculos y refractándose cuando ha cambiado de medio. Al aire libre, estos fenómenos son menos probables, pero en recintos cerrados, las características del sonido percibido son distintas a las del sonido emitido.

La acústica arquitectónica es el área de especialización que se encarga de resolver los problemas en la propagación del sonido en recintos. Uno de los conceptos más relevantes en este sentido es la inteligibilidad de la palabra, que alude a la capacidad subjetiva de una persona de entender un mensaje hablado. La inteligibilidad de la palabra se complica a partir de las propiedades mencionadas anteriormente del sonido. Si una persona escucha un sonido que resulta ser la combinación del sonido proveniente directamente de la fuente y múltiples reflexiones de la onda original, costará entender el mensaje. Otro factor que afecta la inteligibilidad de la palabra es la presencia de ruido de fondo. Si el ruido de fondo tiene una intensidad similar o superior al sonido que se desea escuchar, se estará frente a un posible evento de enmascaramiento acústico, lo que se traduce en imposibilidad de escuchar el sonido en cuestión.

La sala de los parques de estudio y reflexión como el de Manantiales en Chile es un recinto semiesférico, constituido por una cúpula de albañilería y un piso de madera. En su interior carece de todo adorno que pueda condicionar o interferir la experiencia profunda de las personas en su interior. Posee cuatro accesos con puertas de madera y vidrio. El mobiliario está constituido por bancas con forma de arco, organizadas de tal forma, que configuran tres círculos concéntricos. La cúpula es altamente reflectante de sonido. El piso no tanto, no obstante, se comporta como un sistema resonante. En ella se realizan ceremonias del Mensaje de Silo, así también como ejercicios de meditación de los miembros de la Escuela que van al parque a realizar sus trabajos de ascesis.

Las características sonoras de la sala para los miembros de la Escuela es una particularidad que, en algunos casos, potencia la utilidad mística del recinto. Para los visitantes que ingresan por primera vez, suele ser una de las propiedades que más les llama la atención. Es un espacio no común porque su geometría no es la típica de las construcciones en las cuales se habita. Su diseño responde a importantes criterios funcionales que propician el acceso a lo profundo. El sonido es una manifestación de energía y una forma que adquiere la fuerza que todo ser posee. Esa energía se distribuye de manera especial dentro de la sala y produce sensaciones que ayudan a intensificar la experiencia en su interior. Pero, no existe un estudio que precise el comportamiento acústico exacto de la sala con mediciones técnicas objetivas, aunque esto no sea posible cien por ciento.

Esto implica que no hay evidencias concretas relacionadas con el porqué y cómo el sonido se percibe en el interior de la sala. El hacer este estudio contribuirá a comprender dicho fenómeno.



### 1.3 Objetivos del estudio

El objetivo general de este trabajo es Realizar un estudio acústico de la sala del Parque de estudio y Reflexión Los Manantiales de Chile.

Subsecuentemente se formularon los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el comportamiento del sonido en el interior de la sala dependiendo de la ubicación de la fuente sonora y sus propiedades.
- Evaluar la inteligibilidad de la palabra en su interior.
- Relacionar la distribución de la energía acústica en el interior con otros tipos de energías presentes en el interior.

### 1.4 Alcances del estudio

Este estudio tiene como propósito aportar, con antecedentes científicos, a comprender cuál es el efecto del diseño de la sala en algunos fenómenos sensoriales. No es resorte de él, cuestionar su diseño o proponer un acondicionamiento acústico. Se parte de la base de que el diseño tiene una profunda raíz significativa que propicia el trabajo interno y que potencia su función de faro radiador de las más profundas intenciones humanas.

La sala de los parques tiene un diseño único que se replica con pequeñas diferencias tales como las dimensiones. Por lo tanto, este estudio, que es particular de la sala del parque Los Manantiales, será válido para comprender el comportamiento de todas las salas de los parques del Mundo.

## 2. Los Parques de Estudio y Reflexión

Los parques de estudio y reflexión como lo dice en el portal del Parque Los Manantiales:

Son espacios abiertos al Estudio y Reflexión, para profundizar en nosotros mismos y favorecer la no-discriminación, el afecto y la reciprocidad en el trato a los demás. Aspiramos a que desde ellos surja una verdadera oleada de buenos sentimientos que ayuden a develar lo Sagrado en uno y fuera de uno, permitiéndonos comprender que no estamos solos en este mundo ni en los infinitos mundos ([www.parquemanantiales.org](http://www.parquemanantiales.org)).

Los parques han sido construidos a partir de 2005, siendo el primero el de Punta de Vacas, localidad argentina cercana de la ciudad de Mendoza y de la frontera con Chile a los pies del monte Aconcagua. Este parque es considerado el Parque histórico debido a que fue construido en el mismo lugar donde Silo hizo su primera alocución pública en 1969, conocida como la Arenga de la Curación del sufrimiento. (Varios autores, 2010)



Estos lugares han sido implementados y financiados por miembros del Movimiento Humanista, sus organismos, el Mensaje de Silo, amigos y adherentes.

Todos los parques cuentan con una serie de construcciones y símbolos que se van erigiendo a medida que se van obteniendo los recursos para ellos. Estos son: el umbral, la sala, un centro de estudios, un centro de trabajo, una fuente, el monolito, una estela.

La sala es un recinto, semiesférico por dentro, con una cúpula conoide por fuera. Su interior simboliza el acceso a la experiencia interna profunda a través de un espacio vacío de íconos, símbolos o imágenes. Exteriormente, los muros hacen de enmarque de una esfera, que en su cúspide indica la dirección hacia lo alto. En su interior se ubica la gente de un modo circular y concéntrico. Tiene cuatro accesos perfectamente simétricos protegidos del exterior. Tiene un círculo exterior que permite un recorrido circular de la Sala. Interiormente, la acción de forma de la Sala es el de una esfera, al sentirse “incluido” en ella, internamente se tiene un registro de “carga energética”.

La Sala representa a la Escuela. El espacio semiesférico interior representa la experiencia de conexión con los espacios profundos o sagrados. Los cuatro accesos representan las cuatro vías de entrada posibles a dicha experiencia interna: la materia, la energía, la mente y la forma. Los muros de acceso representan la dificultad que tienen esas vías de acceso. El círculo exterior representa el límite desde donde alguien comienza realmente a acercarse a la Escuela. Externamente, se busca llevar los ojos hacia arriba sin interrupciones, hacia “lo alto”.

Exteriormente la Sala es un enmarque de una esfera donde el conoide y el mástil representan la dirección hacia arriba, hacia lo alto donde está el fuego sagrado que es representado por los banderines. Es un espacio que crea un ámbito propicio para el desarrollo de las ceremonias del Mensaje de Silo en general y en particular del trabajo con La Fuerza. Externamente toma las formas sagradas de todas las culturas generando una síntesis que busca representar una nueva mística universal. Es el testimonio vivo del surgimiento de una nueva espiritualidad.



Figura 2.1 Sala del Parque La Reja en la Provincia de Buenos Aires.



Figura 2.2 El portal del parque Attigiano en Italia



Figura 2.3 Estela del Parque Los Manantiales en Chile



Figura 2.4 Fuente de agua del parque Montecillo en Bolivia



Figura 2.5. Monolito del Parque histórico de Punta de Vacas, Provincia de Mendoza, Argentina.

## 2.1 Parque de Estudios y Reflexión Los Manantiales

El Parque Los Manantiales está ubicado al norte de Santiago de Chile, en la comuna de Llay Llay en la región de Valparaíso a un costado de la carretera 5 Norte en el kilómetro 70.

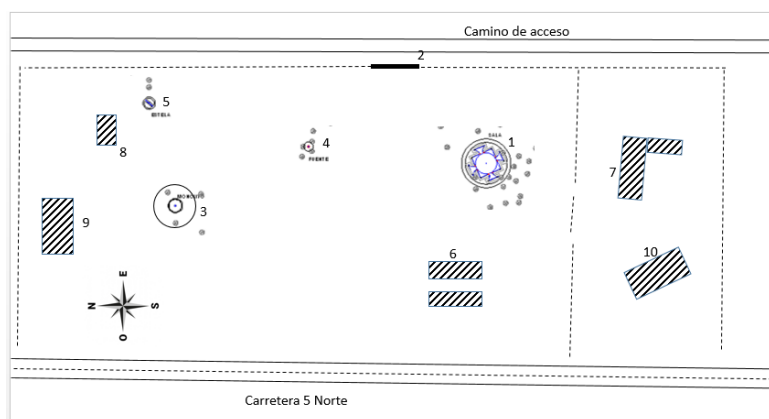


Figura 2.6. Mapa esquemático del Parque de estudios y Reflexión Los Manantiales, Chile. No está a escala





La figura 2.6 muestra una vista panorámica del parque Los Manantiales en Chile. En ella se pueden identificar:

1. La sala
2. El portal
3. El monolito
4. La fuente de agua
5. La estela
6. El centro de trabajo
7. El centro de estudio
8. Una sala multiuso
9. El quincho
10. El taller de oficios

El parque es administrado por la Fundación Pangea y su construcción partió en el año 2004 cuando se adquirió el terreno. El primer hito del parque fue la instalación del monolito en 2005 a lo que le siguió el resto de los elementos y recintos.

## 2.2 Diseño de la sala

El diseño de la sala comienza con la construcción de carácter experimental en El Chaco, Argentina en 1974, proyecto impulsado por el mismo Silo. El diseño en planta era el símbolo de “Escuela” como se le llamó en ese momento recordando la forma de una Mandala, o una cruz andina o “chakana” que consiste en un círculo inscrito en un cuadrado y con cuatro líneas exteriores de igual longitud ubicadas de un modo ortogonal unidas a éste por una suerte de juego de “greca” generando cuatro aperturas simétricas.



Figura 2.7. Símbolo de la “Escuela”.

Al llevar dicho símbolo a tres dimensiones, el círculo interno se transformaba en una esfera en los interiores de un cubo, con cuatro muros externos de igual longitud, simétricos, próximos a éste y unidos al cubo con cuatro pequeños techos que protegían los accesos al interior de la esfera, tal como lo muestran las imágenes de la figura 2.8.



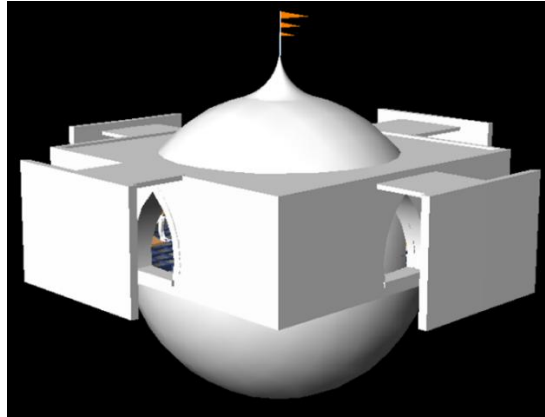


Figura 2.8. Imagen tridimensional de la forma básica de la sala.

Ese diseño consideraba el ecuador de dicha esfera ubicada a ras de piso, en el cual se colocó una rejilla metálica transparente. En esa solución, si alguien se colocaba en el punto central, podía tener el registro interno de estar “suspendido en el centro de una esfera”.

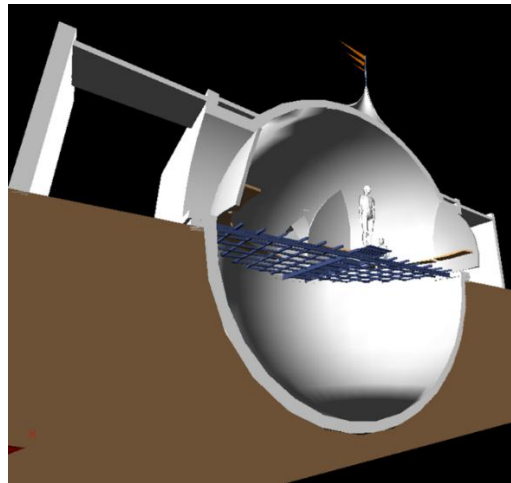


Figura 2.10. Imagen de la rejilla en el ecuador de la esfera.

Este diseño fue retomado en 2004 y modificado para construir las salas de los distintos parques en el Mundo.

Las variaciones con respecto al diseño original fueron: Colocar el ecuador de la esfera a 1.70 m. (más menos la altura de la cabeza u ojos) eliminando la rejilla transparente (por razones de seguridad y uso) colocando en cambio un piso sólido. Interiormente el espacio se transformó en una semiesfera real y en una esfera virtual. Esta solución mantenía el registro interno de “estar en el centro de una esfera” y ésta ganaba mucho más presencia y realce por fuera. Los muros externos fueron más pequeños y se inclinaron sus bordes verticales transformándose en muros trapezoidales.

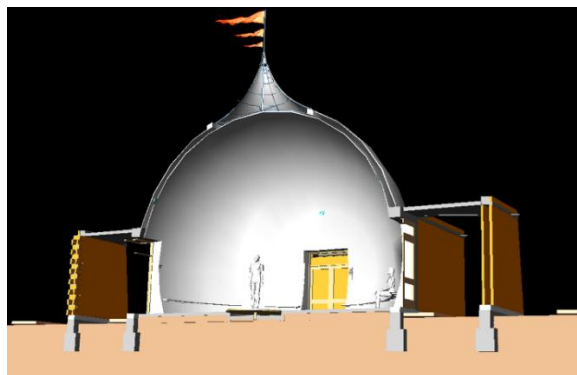


Figura 2.11. Diseño de la sala actual

### 3. El sonido

El sonido es una onda mecánica que se propaga en un medio elástico y que genera una sensación auditiva en el ser humano. Es generada a partir de un cuerpo en vibración. Dicho cuerpo puede ser sólido, gaseoso o líquido al igual que el medio por el cual se propaga. La elasticidad del medio se refiere a la capacidad de deformarse y recuperar su forma original frente a la presencia de fuerzas externas. El cuerpo en vibración ejerce fuerzas alternas que empujan las partículas del medio que, a su vez, se empujan entre sí, provocando una reacción en cadena. El sonido tiene frecuencia, que corresponde a la cantidad de oscilaciones que se suceden en 1 segundo y su unidad es el Hertz (Hz) y amplitud o intensidad que corresponde a las variaciones de presión del aire y que se mide en Pascales o en decibeles (dB).

La condición de que genere una sensación auditiva en el ser humano discrimina toda onda mecánica que no lo haga, por no considerarse como sonido. Esta condición tiene una propiedad frecuencial y energética. El rango audible del ser humano está restringido al intervalo entre 20 y 20.000 Hz nominalmente, considerando una persona joven con un oído sano. Toda vibración cuya frecuencia sea menor a 20 Hz o superior a 20.000 Hz no genera una sensación auditiva en las personas. A su vez, la fuerza que ejerce la fuente sobre el medio se manifestará en una presión del medio que corresponde a la fuerza distribuida por unidad de área. El medio más típico que sirve para propagar el sonido y en el cual se mueve el ser humano, es el aire, no obstante, el sonido se propaga también en el agua y en sólidos. La mínima presión perceptible por una persona corresponde a  $2 \times 10^{-5}$  Pascales, lo cual resulta ser el umbral mínimo de audición para una frecuencia de 1 kHz. Mayores intensidades serán producto de mayor presión en el aire y generarán una sensación más intensa. Esto será así hasta que se llegue al límite físico donde el órgano cuyo propósito es recepcionar los sonidos, el oído, experimente un daño temporal o permanente. El límite físico del oído humano es 20 Pa. En decibeles esta escala va desde 0 dB a 120 dB.

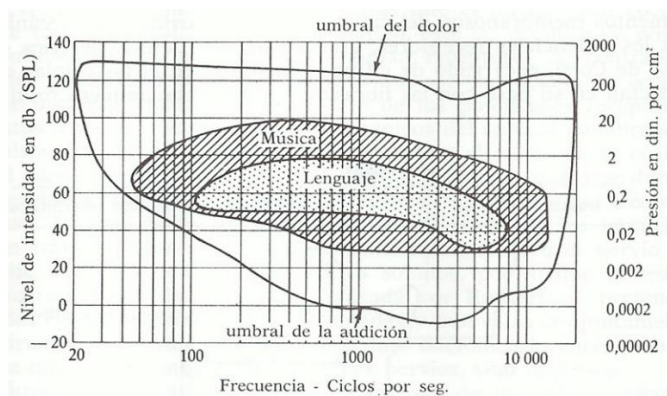


Figura 3.1 Gráfico del campo audible del ser humano.

Todos los sonidos están incluidos dentro de estos límites y los seres humanos han sido capaces de generar sonidos significativos para su desarrollo emotivo e intelectual dentro de esa franja. Es así como la figura 3.1 muestra que la música abarca el rango aproximado de 45 Hz hasta 16 kHz y 35 dB hasta 100 dB. Obviamente hay excepciones porque en un concierto de música popular fácilmente se puede llegar al nivel de la molestia o directamente al dolor. A su vez, la palabra abarca el rango de 100 Hz a 8 kHz y 40 dB para el susurro hasta los 80 dB que es el grito. Una persona hablando a un nivel normal genera un nivel de presión sonora de 65 dB a 1 metro de distancia.

### 3.1 Características básicas del sonido

La onda viaja a una velocidad que depende del medio y de las condiciones climáticas. En promedio, el sonido se propaga a una velocidad de 344 m/s en el aire (temperatura ambiente de 20°C y una humedad del 40%).

Las zonas de alta y baja presión forman sectores isobáricos (igual presión) que se distribuyen en el espacio y que le dan forma al frente de onda. El frente de onda depende de la forma y el tamaño del cuerpo que genera la vibración y de la frecuencia. Los frentes de onda más típicos son el plano y el esférico.

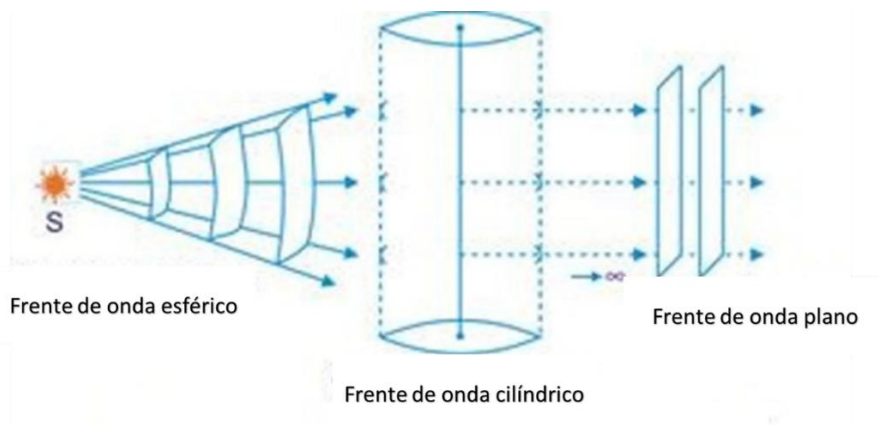


Figura 3.2. Tipos de frente de onda



El más típico es el frente esférico en el cual, al ir divergiendo, su radio de curvatura va aumentando y de a poco comienza a comportarse como un frente de onda plano.

La distancia que hay entre zonas de alta presión entre sí o de baja presión entre sí corresponde a la longitud de onda.

La longitud de onda está relacionada con la frecuencia de ella a partir de la siguiente expresión:

$$c = \lambda \cdot F \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la onda (m/s)

$\lambda$  es la longitud de onda (m)

$F$  es la frecuencia de la onda (Hz)

La ecuación (1) es válida para cualquier onda y no sólo para el sonido.

### 3.2 Propiedades del sonido

El sonido, como toda onda, tiene propiedades que condicionan su comportamiento o como las personas lo perciben. Una de ellas es que el sonido se refleja. La onda al encontrarse con un objeto de otra densidad se refleja con un ángulo igual al ángulo de incidencia.

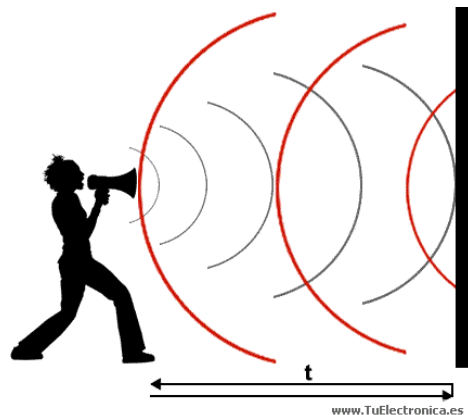


Figura 3.3 Reflexión de un sonido en una pared

La energía reflejada no es igual a la energía incidente, debido a que parte de ella se disipa al chocar con la superficie reflectante en forma de calor o se transmite más allá del obstáculo.

El sonido también se refracta, esto es, cambia de dirección al pasar de un medio a otro con distinta densidad.

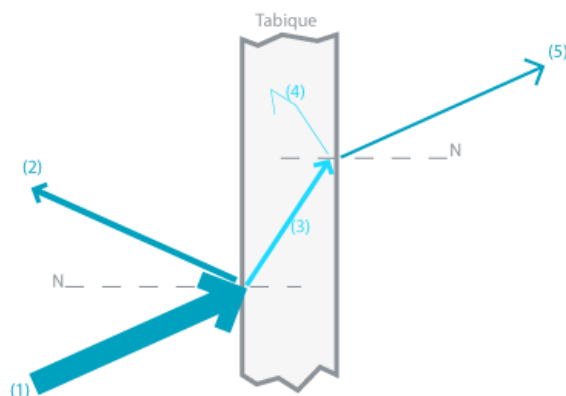


Figura 3.4 Refracción y reflexión del sonido en un tabique

La figura 3.4 muestra lo que sucede con una onda sonora al encontrarse con una partición tipo pared. Para el caso, las flechas indican la dirección de propagación de la onda y no la onda misma. A su vez, el grosor de la flecha está asociada a la intensidad del sonido. La onda incidente (1) se encuentra con el tabique y parte de la energía se refleja generando una onda que se devuelve al mismo medio de donde proviene la onda original (2). Otra porción de la energía se propaga en el tabique que, al ser de otro material, desvía la onda (3). Al llegar hasta el otro límite del tabique, la onda se vuelve a reflejar (4). La energía de la onda (4) es absorbida y se puede considerar como pérdida. Finalmente, parte de la onda se vuelve a refractar al pasar nuevamente a un medio similar al original (5). La onda que pasa hacia el otro lado es energía transmitida.

Así como se describe, el sonido se refracta cuando se transmite desde el aire al agua, en los sólidos tales como paredes y cuando hay cambios de densidad en el aire, por ejemplo, en las distintas capas de la atmósfera.

Finalmente, el sonido se difracta. Este es un fenómeno en el que la onda no sólo cambia de dirección, sino que afecta al frente de onda.



Figura 3.5. Difracción del sonido (<https://view.genially.com/659ec313190677001409c21d/interactive-content-propiedades-del-sonido-y-efecto-doppler>)

La figura 3.5 muestra cómo una onda incidente se encuentra con un obstáculo finito. Parte de la energía también se reflejará, pero la onda al llegar al borde del objeto cambiará de



dirección. En el caso, de una ranura el sonido se transmite cambiando de forma de frente de onda

Por otro lado, la intensidad del sonido decae con la distancia. Debido a múltiples factores dentro de los que están la impedancia del medio en el cual se propaga o algunas condiciones externas, el sonido va decayendo con la distancia. Al aire libre el nivel cae 6 dB cada vez que la distancia se duplica.

Este comportamiento puede ser alterado por el viento, las gradientes de temperatura o la humedad. La influencia de estas variables no será abordada en este estudio debido a que el problema en cuestión está relacionado con el comportamiento del sonido en interiores.

En recintos cerrados, el comportamiento difiere porque el sonido proveniente de la fuente se refleja en las paredes del recinto generando energía reverberante.

### 3.3 La reverberación

La reverberación es el conjunto de reflexiones que se suceden en un recinto a intervalos infinitesimales de tal manera que no se pueden diferenciar una a otra, pero el conjunto tiene un comportamiento definido.

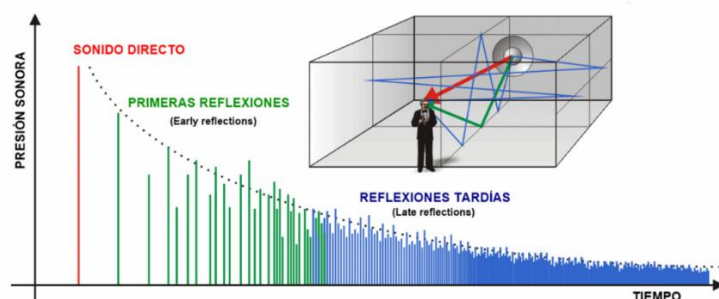


Figura 3.6 Ecograma típico en el interior de un recinto cerrado.

(<https://cursodesonido.webnode.com.co/curso/sonido-1/a11-acustica-de-espacios-01/>)

La figura 3.6 muestra un ecograma donde el sonido directo es un sonido impulsivo, esto es un sonido cuya duración es muy corta, como por ejemplo un golpe. El sonido directo al ir avanzando a través de la sala se irá encontrando con las paredes. Hay un conjunto inicial de reflexiones que se suceden en las paredes más cercanas a la ubicación de la fuente o desde donde se generó el sonido y que reciben el nombre de reflexiones tempranas. Esas reflexiones se vuelven a reflejar y sumadas a otras nuevas van generando las reflexiones tardías que, en su conjunto, reciben el nombre de reverberación.

Un sonido puede perdurar en el tiempo debido a la sucesión de múltiples reflexiones. Esto depende de la geometría, las dimensiones y la capacidad de absorción de las paredes del recinto. El tiempo que se demora el sonido en decaer 60 dB o a que su energía disminuya a su millonésima parte recibe el nombre de tiempo de reverberación.



El tiempo de reverberación es proporcional al tamaño de la sala e inversamente proporcional a la absorción de sus paredes. Entonces, las salas grandes tienden a tener un tiempo de reverberación alto, salvo que sean muy absorbentes. Al revés, salas pequeñas deberían tener un tiempo de reverberación menor salvo, que sus paredes sean muy reflectantes.

Cuando un oyente está cerca de la fuente, escuchará el sonido directo que viene de ella de manera relevante. A medida que se aleje, el sonido directo irá disminuyendo acercándose al sonido reverberado hasta que éste comienza a ser más protagónico que el sonido directo. Una característica del sonido reverberante es que es muy confuso debido a la superposición de múltiples reflexiones.

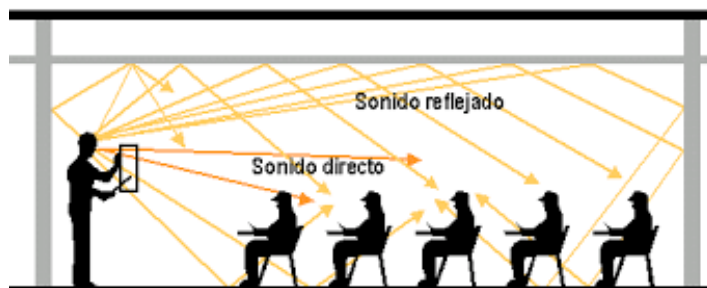


Figura 3. 7. Transmisión del sonido de una hablando en un auditorio

En la figura 3.7 la persona que está más cerca del hablante, recibirá mayor sonido directo que los de atrás, mientras que el más alejado recibirá más reflexiones que sonido directo.

Existe una distancia donde la energía directa y la energía reverberante tienen la misma intensidad. Esa distancia recibe el nombre de distancia crítica ( $D_c$ ) o radio de reverberación.

### 3.4 Ruido

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el ruido es todo sonido que genera algún grado de molestia en las personas. Esta molestia puede ser psicológica o fisiológica. La molestia psicológica está asociada con el escuchar sonidos que no se desean escuchar o que impiden escuchar otro sonido de mayor importancia. Lo fisiológico está asociado a la molestia física y al dolor del órgano de la audición, el oído.

El ruido puede ser clasificado desde distintos enfoques. Uno de ellos está relacionado con las fuentes que generan esos sonidos. Por ejemplo, están los ruidos de la naturaleza tales como el cauce de los ríos, las olas del mar, el trinar de los pajarillos; está el ruido de la tecnología, esto corresponde a todo artefacto creado por la especie humana para facilitar su labores, como por ejemplo los automóviles, los aviones, los electrodomésticos y está el ruido de carácter conductual de las personas que son aquellos ruidos que son producto de actos humanos como tocar la bocina del automóvil innecesariamente, los portazos, los gritos y discusiones destempladas. También se puede hablar de ruido ambiente refiriéndose





a la totalidad de eventos sonoros que están presentes en un determinado entorno natural o urbano. En el caso del ruido ambiente de las ciudades, directamente se le llama ruido urbano. Por otro lado, se diferencia del ruido industrial, propio de las actividades productivas.

En ambientes interurbanos uno de los componentes más relevantes es el ruido de carreteras compuesto por el ruido generado por el rodado de vehículos particulares, camiones, buses interurbanos. Este ruido se debe al motor de los vehículos, el roce de sus neumáticos en el pavimento y las vibraciones de la carrocería, entre otros.

Todos los ruidos presentes en un lugar y esto incluye el interior de recintos, forma un substrato que actúa como piso de ruido y que muchas veces impide tener la experiencia del silencio. En este caso se habla de ruido de fondo. El ruido de fondo puede ser continuo, esto significa que está siempre presente con un nivel relativamente regular, o puede ser fluctuante cuando hay cambios significativos en su nivel. También se puede observar que hay lugares en donde, dependiendo de la etapa de día el ruido se puede comportar como continuo o fluctuante.

### 3.5 La audición

La audición es un proceso muy complejo que tiene aspectos fisiológicos y psicológicos. El ser humano tiene dos órganos sensores llamados oídos que le permiten captar las ondas sonoras de su entorno incluyendo la localización de la fuente. El oído genera una serie de impulsos eléctricos que se transmiten a través del nervio auditivo a la corteza cerebral, específicamente a las terminales ubicadas en el lóbulo temporal. Como se tienen dos oídos, ambos lóbulos temporales reciben información. Sin embargo, la transmisión es cruzada, es decir la señal del oído izquierdo llega al lóbulo temporal derecho y viceversa.

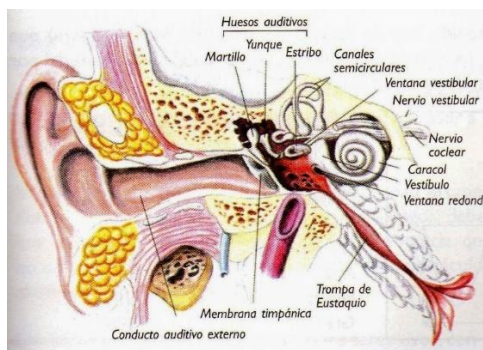


Figura 3.8 Diagrama del oído humano

La figura 3.8 muestra un dibujo esquemático del oído humano. Su estructura se puede dividir en oído externo, medio e interno. El oído externo está constituido por la oreja, el canal auditivo externo y el tímpano. La oreja trabaja como antena captando las ondas sonoras que se propagan alrededor de la cabeza del individuo, conduciéndolas al canal auditivo externo que funciona como resonador. Finalmente, la onda arriba al tímpano que



actúa como transductor mecanoacústico convirtiendo las variaciones de presión en el aire a energía mecánica.

El oído medio está constituido por una cadena de huesecillos denominados martillo, yunque y estribo respectivamente que funcionan como transformador mecánico amplificando la fuerza que originalmente produjo el tímpano. En el oído medio también está la trompa de Eustaquio que es un conducto que comunica esta sección con las vías respiratorias y actúa como igualador de presiones para que en el oído medio la presión interna sea igual a la presión atmosférica.

El oído interno está constituido por la cóclea que es una estructura en forma de caracol lleno de líquido que contiene una membrana que a su vez posee el órgano de Corti encargado de generar los impulsos eléctricos a partir de la perturbación del medio líquido provocado por la vibración del estribo en la ventana oval. El órgano de Corti posee las células ciliadas que generan impulsos eléctricos cuando son sometidas a vibraciones mecánicas. Dichos impulsos van convergiendo a través de innumerables terminales nerviosas el nervio auditivo que transmite los impulsos al cerebro. La cóclea también posee los conductos semicirculares que resultan ser fundamentales en la sensación de equilibrio de las personas.

### **3.5.1. Efecto de procedencia.**

Los pliegues de la oreja ayudan a diferenciar la distancia de la fuente y el ángulo de elevación con que arriba la onda sonora a la cabeza. La localización de la fuente sonora está dada por la diferencia de captación de cada oído. Una persona puede determinar la localización de la fuente sonora que generó el sonido que está escuchando debido a que éste arriba con distinto nivel y en distintos momentos a ambos oídos.

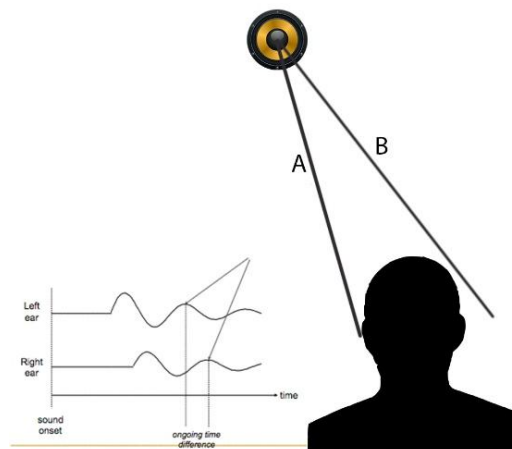


Figura 3.9 Efecto de procedencia en el oído humano. (<https://www.hispasonic.com/tutoriales/como-ubicamos-sonidos-espacio-binauralidad-teoria-duplex/43279>)



La figura 3.9 muestra cómo funciona el efecto de procedencia, esto es la capacidad de determinar la procedencia de un sonido. La cabeza actúa como un objeto de interferencia, los sonidos arriban a ambos oídos con distinto nivel o intensidad debido a la pantalla que ejerce la cabeza en el oído contrario a la ubicación de la fuente. A esto se le llama IID, por su significado en inglés Interaural Intensity Difference (Diferencia interaural de intensidad). Pero, además, la onda recorre una distancia mayor para llegar al oído más alejado lo que implica que ambos oídos no captan la onda en la misma fase. A este se le llama ITD, Interaural Time Difference (Diferencia interaural de tiempo). Existe un caso especial que es cuando la ITD y la IID son cero, es decir no hay diferencia y eso sucede cuando la onda llega con la misma intensidad y al mismo tiempo a ambos oídos. Esto sucede cuando el sonido ha sido generado por una fuente que está a la misma distancia de los oídos, por lo tanto, esto ocurrirá para toda fuente ubicada en el plano del eje vertical de la cabeza.

### 3.5.2 Respuesta de frecuencia del oído humano

El oído, como ya se ha mencionado tiene una respuesta nominal de 20 a 20.000 Hz y sus umbrales van desde el mínimo, 0 dB, hasta el umbral de la molestia, 120dB. Pero, además, la forma en que el oído responde no es igual dependiendo de la frecuencia y el nivel del sonido que percibe. El oído es más sensible en el rango de 1k y 4 kHz. Esto es debido, principalmente a que el canal auditivo externo resuena a 3.5 kHz aproximadamente. Luego, la existencia de varios elementos que actúan como filtros hace que la sensibilidad disminuya en frecuencia bajas y frecuencias altas.

Pero no todo lo que se percibe como sonido corresponde a lo que captan los oídos. Existe una percepción estructural que está asociada a la vibración de otros sistemas como la cavidad craneana, el tórax, la columna vertebral que tienden a amplificar la sensación sensorial en frecuencias bajas. Es así que cuando se asiste a un concierto de música popular, la excitación de la sala con parlantes, que generan sonidos de frecuencia muy baja a gran intensidad, hace vibrar las estructuras sólidas y cavidades del intracuerpo amplificando la sensación subjetiva de dichas frecuencias.

Las mediciones de los parámetros del sonido tales como nivel y el rango de frecuencia se hacen con instrumentos de medición tales como sonómetro y analizadores de espectro. Muchos de ellos cuentan con filtros que adaptan la lectura a cómo el ser humano percibe los sonidos. Esos filtros poseen una respuesta que recibe el nombre de curva de ponderación. Como la respuesta del oído depende del nivel, existen tres curvas de ponderación.

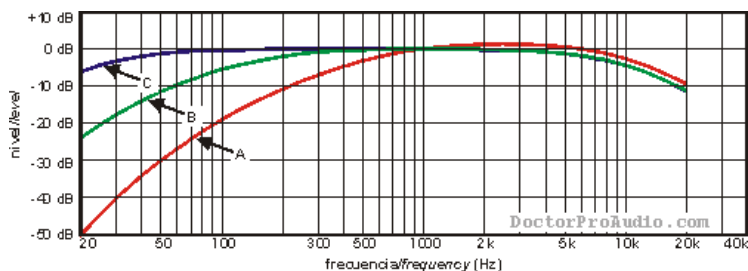


Figura 3.10 Curvas de ponderación A, B y C

La curva A se usa cuando se evalúan sonidos de nivel bajo y las otras para niveles sucesivamente más altos. Cuando se mide ruido de fondo se debe usar la curva A porque adecúa la respuesta del instrumento de medición a la respuesta del oído. Por ejemplo, una medición sin filtraje podría indicar 60 dB y corresponde al promedio energético medido por el instrumento, pero si se aplicara el filtro A, la lectura bajaría dependiendo del contenido espectral del sonido, pudiendo ser 45 dBA (se lee tal cual o 45 dB ponderados en A). Esto quiere decir que el sonido de 60 dB, una persona lo percibiría como si tuviera 45 dB.

La respuesta del oído va cambiando con la edad. La audición es el primer sentido que se desarrolla en el individuo y lo hace durante el desarrollo embrionario. La plenitud auditiva se alcanza entre los 18 y 25 años en promedio. Luego de esta etapa comienza un proceso degenerativo conocido como presbiacusia. Esto es una disminución progresiva de la capacidad auditiva de las personas. Las dificultades en la audición se concentran en el rango de frecuencias medias y altas y su manifestación evidente varía entre los individuos pudiendo ir entre los 40 o 50 años. Sobre los 60 años, las dificultades se hacen más patentes.

Otros problemas no asociados a la presbiacusia se generalizan como hipoacusia, las cuales se pueden deber a problemas congénitos o enfermedades virales. También existen desplazamientos temporales de los umbrales debido a la exposición a un ruido de nivel muy alto. Si el tiempo de exposición es muy prolongado, se puede producir un daño permanente, normalmente asociado a exposición en ámbitos laborales. Existe la posibilidad que la hipoacusia no tenga el mismo grado en ambos oídos. La exposición a niveles muy altos también produce tinnitus, que es una sensación de un sonido de frecuencia alta generada en el mismo oído y no por un estímulo externo.

### 3.6 La audición como fenómeno del psiquismo humano

Ya se describió el proceso a través del cual los oídos generan los impulsos nerviosos que se transmiten hacia el cerebro desde una perspectiva fisiológica. Como lo describe Silo en Apuntes de Psicología, la sensación auditiva como la de todos los sentidos externos e internos llegan a la conciencia y a la memoria simultáneamente. La memoria le aporta antecedentes a la conciencia a partir de los registros de percepciones anteriores. Gracias a esta interrelación se produce el mecanismo del reconocimiento. Al mismo tiempo, se genera una representación del objeto que generó el sonido que se percibe. La imagen de dicha representación provocará una respuesta que se canalizará a través de los centros de



respuesta partiendo por el centro vegetativo, el motriz, el emotivo y el intelectual. La respuesta es del individuo al medio externo, la cual es también percibida por el mismo u otros sentidos.

Uno de los fenómenos más interesantes de este mecanismo es que el sentido cenestésico, asociado muy cercanamente al centro vegetativo genera registros muy intensos de las percepciones. Los ejemplos más claros están relacionados con las repuestas que genera la percepción de la música. La música es un estímulo sonoro muy complejo que contiene mucha información objetiva y subjetiva simultáneamente. Las razones por las cuales hay piezas musicales que provocan mucho gusto en las personas son múltiples y muy difíciles de discriminar. Los contextos son muy importantes debido a que ellos se reproducen cuando se percibe nuevamente ese sonido desencadenando cuadros extremos ya sea de mucha felicidad o tristeza.

Este mecanismo difiere dependiendo de los niveles de conciencia que son: vigilia, semisueño y sueño. En la vigilia es cuando toda la energía está volcada al funcionamiento y recepción de las sensaciones de los sentidos externos, incluyendo a la audición. En semisueño, tanto en la transición hacia el sueño desde la vigilia o al revés, la audición es la más activa suministrando información que muchas veces condiciona los pasajes oníricos (sueño REM) que se producen durante el sueño debido al efecto de remanencia de los registros del nivel anterior.

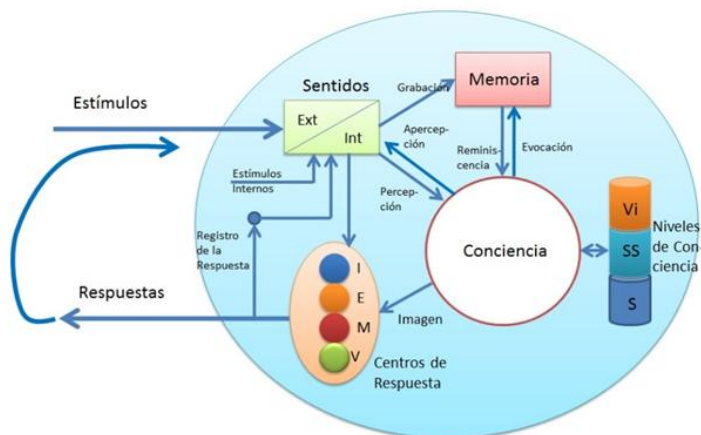


Figura 3.11 Esquema del psiquismo humano.

(<https://tiemposdecambioweb.wordpress.com/category/psicologia/>)

Silo, define la apercepción que relaciona la conciencia con los sentidos en el esquema de la figura 3.11 como la percepción con atención. La atención es una habilidad que permite concentrar la energía en la información que está captando uno o un grupo determinado de sentidos. Algo así como la diferencia entre oír y escuchar. Cuando se escucha con atención un sonido en particular se puede discriminar otros sonidos que son parte del entorno así



también como otros estímulos transmitidos por otros sentidos. Hay personas que tienen ciertas habilidades relacionadas con esto como las denominadas personas con oído relativo y absoluto.

El oído relativo tiene que ver con la habilidad de la persona de reconocer sonidos individuales dentro de una masa sonora. Por ejemplo, poner atención al sonido de la guitarra exclusivamente dejando de escuchar el resto de la banda sonora. También son muy hábiles para identificar consonancias y disonancias y por ende desafinaciones. Es un nivel superior de apercepción auditiva. Se llama relativo porque los sonidos se identifican a partir de una referencia conocida.

El oído absoluto, a su vez, es la capacidad de reconocer una nota musical o producirla sin necesidad de contar con una referencia. Esta habilidad se puede entrenar y está asociada a una gran capacidad de memorización de estímulos sonoros.

### **3.7 Inteligibilidad de la palabra.**

La inteligibilidad de la palabra es el nivel de entendimiento que tienen los mensajes hablados en determinado contexto físico. Las variables que están involucradas son muchas. Dentro de ellas se pueden indicar la dicción del hablante, el manejo del mismo idioma por parte de emisor y receptor incluyendo modismos regionales o generacionales entre individuos que hablan el mismo idioma, la acústica de la sala, el nivel de ruido de fondo presente. Cuando se usa un sistema de audio para reforzar el sonido de un hablante, también hay que considerar la linealidad de la respuesta del sistema, cosa que no siempre es la adecuada, como por ejemplo en sistema de información en recinto públicos.

Para evaluar la inteligibilidad de la palabra existen distintos descriptores tales como el STI (Speech transmission index), RASTI (Rapid speech transmission index), AI (Articulation index) y el Alcons (articulation loss of consonants) (Ortiz, 1992).

En el caso de la voz cantada, no se aplica el concepto de inteligibilidad de la palabra porque se considera un evento con otras características donde influyen además de las variables ya mencionadas, el fraseo y la métrica de la canción. Muchas veces, por razones musicales, los compositores cambian la acentuación normal de las palabras lo que dificulta su entendimiento en condiciones complejas. Es por eso que la voz cantada se considera un sonido musical y para ello hay otros indicadores tales como la claridad (C80) y la definición (D50). Ambos, están relacionados con la curva de decaimiento de la energía en el tiempo en los primeros instantes, luego de generarse.

## **4 Presentación y análisis de resultados**

En la siguiente sección se presentarán los resultados de la etapa experimental y los principales hallazgos.



#### 4.1 Dimensiones de la sala

La figura 4.1 muestra la imagen de planta de la sala del Parque de estudios y reflexión Los Manantiales, en la cual se puede observar que el diámetro de la esfera principal es de 9,4 m. A su vez, en la figura 4.2 se puede apreciar la altura máxima de la sala desde el suelo a la parte superior de la esfera.

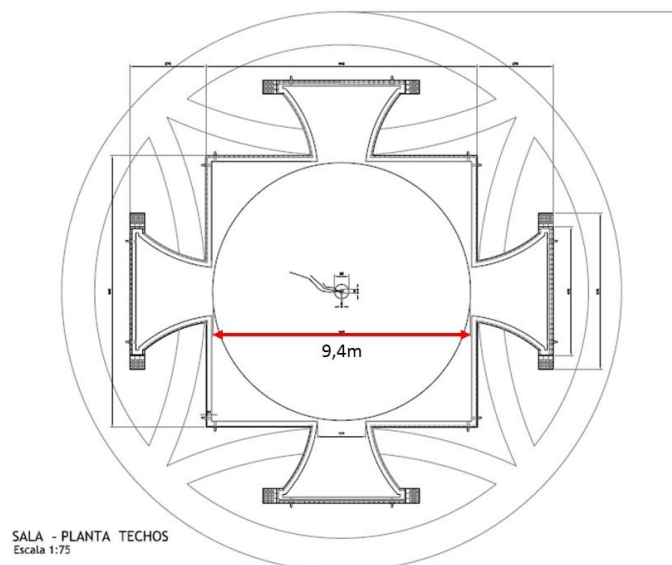


Figura 4.1 Vista de planta de la sala del parque Los Manantiales

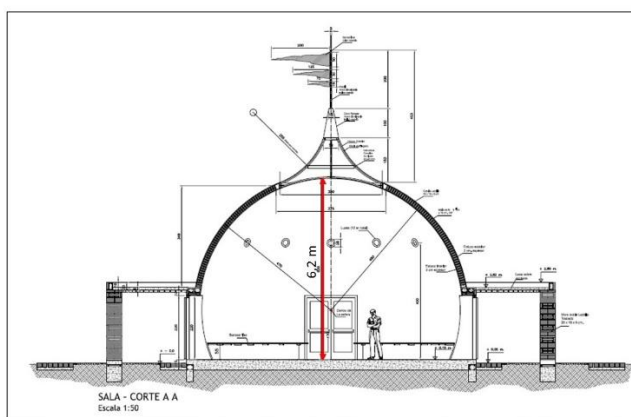


Figura 4.2 Vista de perfil de la sala del parque Los Manantiales

Para evaluar algunos parámetros acústicos es necesario contar con el área total y el volumen de la sala.

La figura de la sala resulta ser una esfera truncada por un plano. La parte faltante de la esfera recibe el nombre de casquete esférico. Tanto el área como el volumen resultarán de la sustracción del área y volumen de la esfera y el área y volumen del casquete esférico.





El área de una esfera es:

$$A = 4\pi r^2 \quad (2)$$

Donde

r es el radio de la esfera (m). En este caso es la mitad del diámetro, es decir, 4,7 m.

El área de un casquete esférico es:

$$A_c = 2\pi r h \quad (3)$$

Donde

h es la altura del casquete esférico. Para el caso en estudio h es la diferencia entre el diámetro (9,4 m) y la altura de la sala en el centro de ella (6,2 m).

El volumen de una esfera es:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (4)$$

A su vez, el volumen de un casquete esférico es:

$$V_c = \frac{\pi h^2}{3}(3r - h) \quad (5)$$

Reemplazando las dimensiones correspondientes y sacando la diferencia entre las áreas y volúmenes respectivos se obtiene que:

$$A = 183,1 \text{ m}^2$$

$$V = 318 \text{ m}^3$$

## 4.2 Análisis de reflexiones

El sonido, como cualquier fenómeno oscilatorio, se refleja, difracta y refracta. La reflexión tiene que ver con el fenómeno en el cual la onda cambia de dirección al enfrentarse a un obstáculo de distinta densidad del medio en el cual se propaga. La reflexión del sonido está regida por la ley de Snell, que señala que el ángulo de reflexión de una onda en una superficie cualquiera es igual al ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia o el de reflexión se toma considerando la dirección de propagación de la onda y la normal a la superficie reflectante.

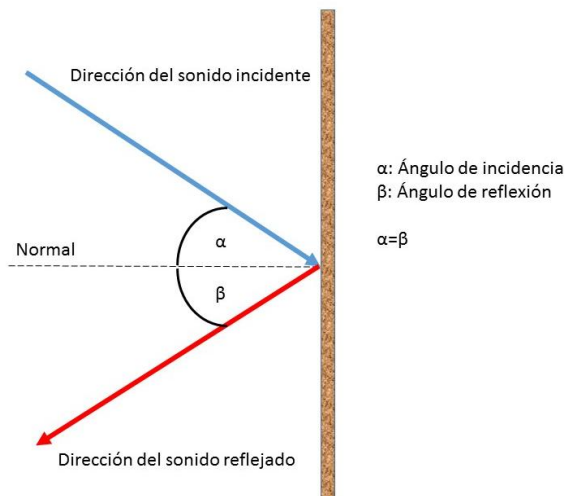


Figura 4.3 Ley de Snell

En la figura 4.3 se puede apreciar cómo la dirección del sonido reflejado se relaciona con la dirección del sonido incidente. Sin embargo, las ondas sonoras no son flechas, aunque en frecuencias muy altas la representación gráfica podría acercarse. Las ondas sonoras pueden presentar frentes planos, esféricos y cilíndricos, siendo los esféricos los más típicos. Si se considera el frente de ondas que va arribando a una superficie plana, se podrá observar un fenómeno similar al que se muestra en la figura 4.4.

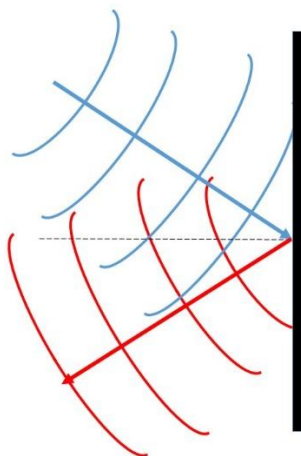


Figura 4.4. Reflexión de un frente de onda esférico.

En este caso, la flecha representa la dirección de la onda en la dimensión axial de la esfera imaginaria.

Si el frente de ondas es divergente proveniente de una fuente puntual y trazando múltiples radios desde el origen se podrá analizar como el ángulo de incidencia es distinto en cada punto de la superficie reflectante y por tanto el ángulo de reflexión también lo será.



Figura 4.5 Reflexión de un frente de onda divergente

Como la muestra la figura 4.5, la porción de la onda que incide a  $0^\circ$  o con incidencia normal respecto a la superficie reflectante, se refleja en la misma dirección, pero en sentido contrario lo cual producirá una superposición de ondas. Mientras que las porciones divergentes generarán distintos ángulos de reflexión de acuerdo a lo que dice la ley de Snell.

El fenómeno es el mismo si, por el contrario, la onda se refleja en una superficie curva. No obstante, el resultado será disímil dependiendo si la superficie es cóncava o convexa. Considerando el caso puntual de la Sala del parque Los Manantiales, el interior resulta ser una esfera truncada como ya se hizo hincapié, por lo tanto, cualquier sonido que se emita en ella se enfrentará a una superficie cóncava. En este caso, el ángulo de incidencia se toma considerando la tangente de la curva en el punto donde inciden la onda.

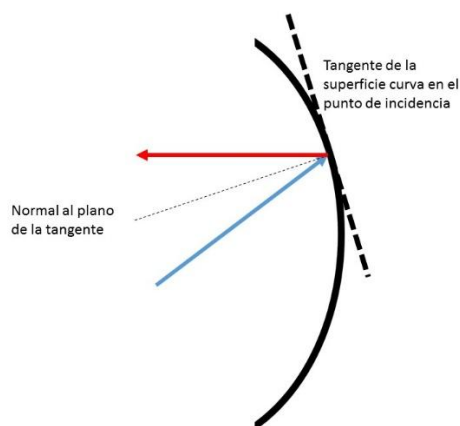


Figura 4.6 Ley de Snell en una superficie cóncava



Si la superficie cóncava fuera una parábola o una elipse, toda reflexión pasará por el foco de la parábola o ambos focos de la elipse. En el caso de una superficie circular, si la fuente estuviera en el centro, todas las reflexiones convergen al punto de origen, pero si la fuente está fuera del centro, los ángulos de incidencia variarán dependiendo de cómo la onda arribe a la superficie reflectante.

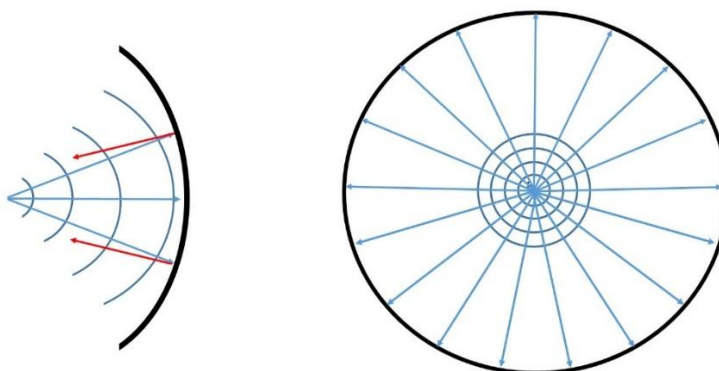


Figura 4.7 Incidencia y reflexión en superficies circulares

En la imagen de la derecha de la figura 4.7 se observa un frente de onda circular que se propaga desde el centro de la esfera hacia sus paredes. El ángulo de incidencia en cada punto de las superficies interiores estará dado por el radio de la esfera y la normal de la tangente en el punto de incidencia. Esto generará una reflexión en la misma dirección, es decir hacia el centro. En resumen, la reflexión de una onda divergente en una superficie cóncava es convergente. En una esfera, una fuente ubicada en el centro que produce un frente de ondas esférico generará una gran reflexión convergente hacia el mismo centro.

Pero, el sonido no se refleja sólo una vez, sino múltiples veces. En un recinto cerrado se producen reflexiones de reflexiones. Las sucesivas reflexiones tienen menor energía que la onda incidente que las genera, dependiendo de la capacidad de reflexión del material con el cual esté constituida la superficie reflectante. Si el material es poroso o fibroso producirá pérdidas disipativas que harán que la reflexión tenga menos energía que la onda incidente. A este fenómeno se le conoce como absorción sonora. Por el contrario, materiales de alta densidad como el concreto, todo metal o los vidrios son muy poco absorbentes y producen reflexiones de gran intensidad. A las múltiples reflexiones en un recinto se le denomina por el orden. Una reflexión de primer orden es aquella que resulta de la reflexión del sonido directo proveniente de la fuente. Si esa reflexión también se refleja, producirá una reflexión de segundo orden y así sucesivamente.

La sala del parque Los Manantiales tiene una estructura de albañilería sólida enlucida y pintada. El suelo es de madera sobre un radier de gran envergadura. En el centro del suelo hay un círculo que originalmente rotaría con un motor, idea que se desechó, no obstante,



esto hace que esa porción se comporte distinto porque hay una cavidad bajo ella que la hace más resonante que el resto del piso.

Las paredes de albañilería generan reflexiones de primer orden con gran intensidad y reflexiones de orden superior significativas. El suelo es más absorbente, aunque no de manera importante, sobre todo por el cuidado pulido con el cual se mantiene.

La sala se usa para ejercicios de meditación de toda persona o visitante que lo desee hacer. Pero uno de los usos más importantes es como recinto de ceremonias del Mensaje de Silo. En ellas, se ubican uno o dos oficiantes que leen las ceremonias en el centro y los participantes se ordenan en bancas circulares alrededor de los oficiantes. La capacidad es de alrededor de 100 personas sentadas, aunque podrían entrar más.

El o la oficiante al hablar se constituye en una fuente sonora. Su sonido emana de la boca en un frente de ondas semiesférico que se proyecta desde la cabeza en múltiples direcciones. La porción superior de dicha energía se refleja en la cúpula con incidencia normal generando reflexiones que convergen al mismo oficiante.

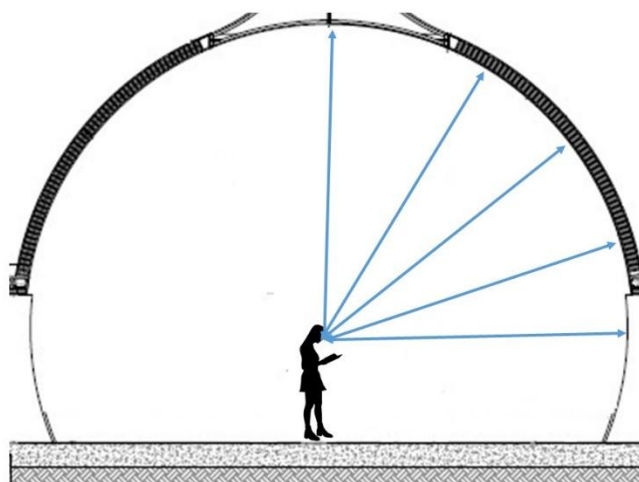


Figura 4.8. Radiación e incidencia de la onda en la cúpula.

Este fenómeno produce una sensación muy especial en la persona que habla desde el centro porque escucha su voz directa superpuesta con el sonido reflejado produciendo la ilusión de que su voz está en el interior de su cabeza.

La otra porción de la onda se radia hacia abajo reflejándose en el suelo, produciendo un patrón más complejo de múltiples reflexiones.

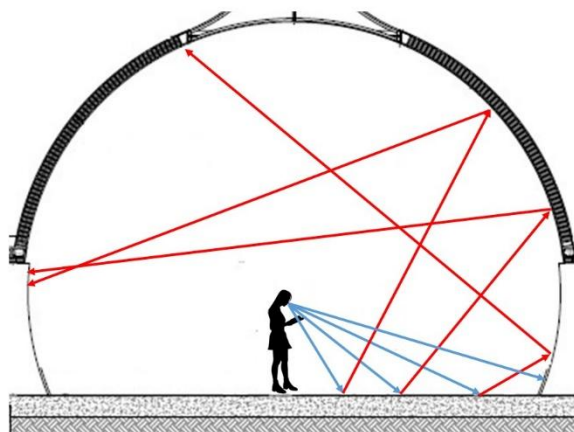


Figura 4.9 Sucesión de parte de las reflexiones de 1° y 2° orden en el suelo

Sin embargo, cuando la sala está llena, la onda dirigida hacia ese espacio llega a los asistentes de manera directa y por efecto de la ropa se absorbe eliminando parcialmente las reflexiones de 1° orden en el suelo.

Si se considera ahora a un o una asistente que escucha las palabras del o la oficiante, se podrá observar que el sonido que escucha es prácticamente sonido directo (ver figura 4.10).

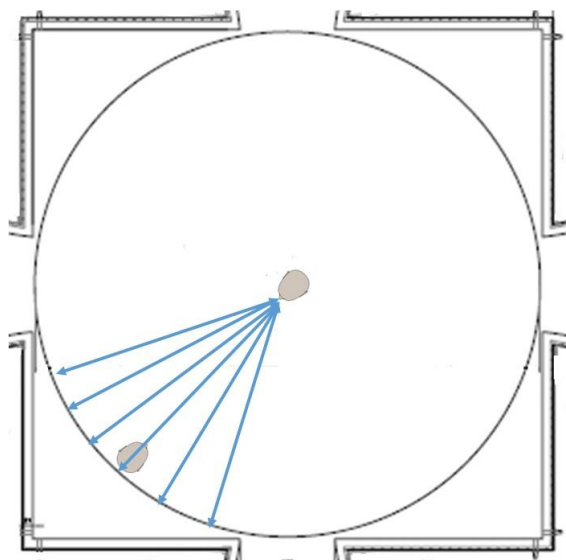


Figura 4.10. Arribo del sonido de un o una hablante central a personas distribuidas en la sala.



Figura 4. 11 Oficiantes realizando ceremonia en el interior de la sala

En la figura 4.11 se observa una fotografía de cómo se distribuyen normalmente las personas dentro del contexto de una ceremonia del Mensaje de Silo.

Como la mayoría de las reflexiones retornan al hablante, los auditores no reciben energía reflejada importante.

Algo distinto sucede cuando los participantes hablan. La superficie esférica actúa como radiador que distribuye el sonido en distintas direcciones.

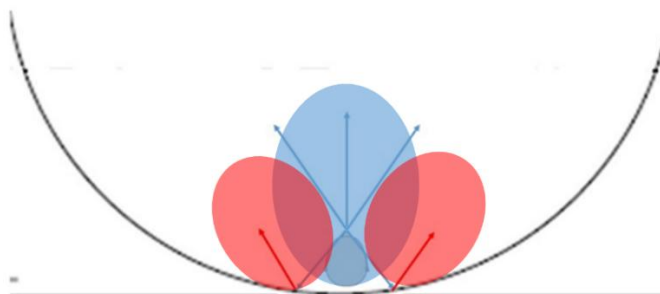


Figura 4.12 Distribución del sonido de un hablante en la periferia de la sala.

Como se puede apreciar en la figura 4.12, hay una cantidad de energía importante que está representada por la zona celeste que emana directamente desde el tracto vocal del hablante. Parte de esta energía rodea la cabeza y se refleja en la pared trasera la cual proyecta el sonido hacia adelante, representado en las zonas rojizas. Si se proyecta esto, considerando dos personas sentadas en ubicaciones opuestas de la sala, se vería la multiplicidad de reflexiones que se van sucediendo y se distribuyen en el interior de la sala.



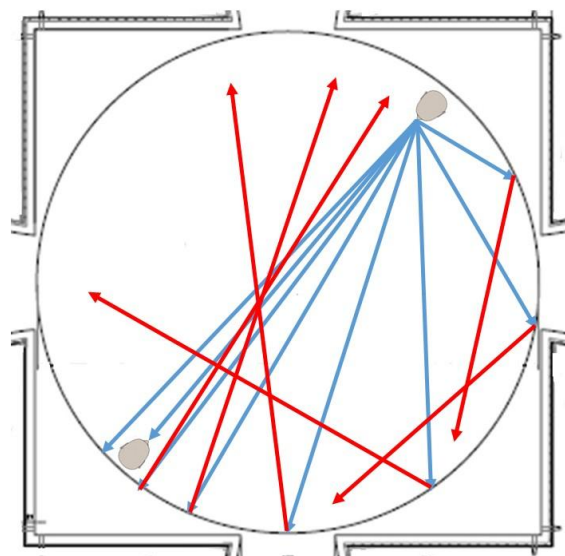


Figura 4.13 Sucesión de primeras reflexiones de un hablante en la periferia de la sala.

Finalmente, si un auditor en la periferia está bajo el ataque de varias ondas sonoras simultáneamente provenientes del costado contrario de la sala, se podrá observar que la mayoría de las ondas confluyen a su cabeza.

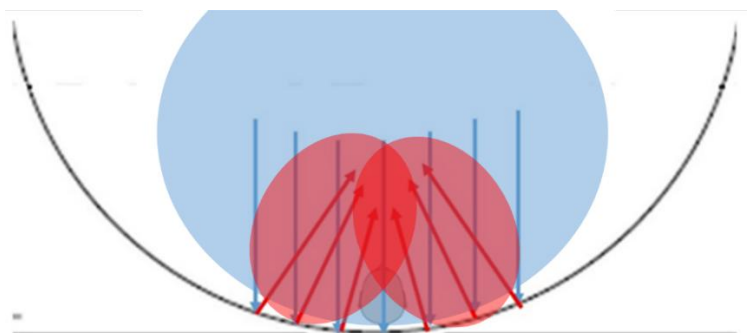


Figura 4.14 Convergencia de múltiples ondas hacia un mismo auditor.

Todo esto hace que el efecto de procedencia produzca sensaciones muy confusas en las personas en el interior de la sala.

Como se describió en la sección 3.7.1 el efecto de procedencia está dado por la IID y la ITD. También conocido como la ley del primer frente de onda, la procedencia del sonido estará determinada por el primer frente de onda que llega a la cabeza del oyente, esto es considerando el sonido directo y la sucesión de sus reflexiones en las paredes del recinto. Como normalmente el sonido directo recorre menos distancia, el primer frente de onda es el del sonido directo. No obstante, si un segundo o tercer frente de onda es sustancialmente más potente que el primer frente de onda, la sensación se modifica siendo determinada por el frente de onda que arriba con mayor energía. Cuando dos personas de espaldas una a la



otra habla simultáneamente generarán un sonido que hacia atrás es de menor intensidad, pero las reflexiones de primer o segundo orden pueden ser muy potentes lo que podría hacer que se escuchen desviando la imagen de la posición del hablante.

Es el caso de los hablantes en los costados contrarios de la sala que generan un sonido muy presente en sus oyentes opuestos a diferencia del que puede generar una persona a menor distancia, pero en una ubicación que no genere reflexiones de primer orden significativas.

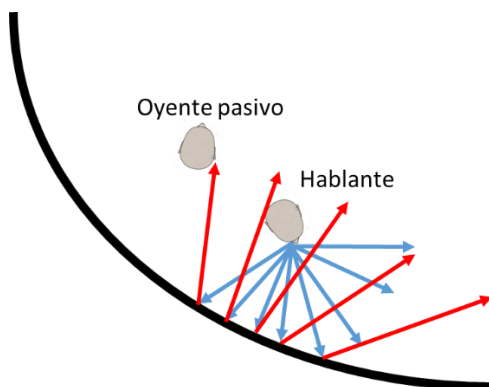


Figura 4.15. Distorsión del efecto de procedencia debido a reflexiones

En la figura 4.15 se puede apreciar como un hablante genera energía sonora y esta se distribuye alrededor de él. La porción dirigida hacia adelante será escuchada por su interlocutor y las reflexiones en la pared se distribuyen en distintas direcciones alcanzando a un oyente pasivo que sentirá una voz que proviene de atrás, específicamente de la pared donde a lo mejor no hay persona alguna. Instintivamente ese oyente tenderá a hacer girar su cabeza tratando de identificar la proveniencia del sonido y la ubicación de la fuente en cuestión no encontrando coincidencia coherente. Este fenómeno produce fuentes fantasmas.

### 4.3 Relación del sonido con otros tipos de energía.

El sonido son ondas mecánicas que se propagan en un medio elástico tal como el aire. En el caso de la palabra, el sonido es generado por el aparato vocal del hablante. Estos sonidos resultan ser el resultado de una respuesta del aparato psicofísico del hablante a un estímulo y específicamente generado por los centros de respuestas. Por lo tanto, el sonido es una forma de energía psicofísica que emana de una persona. Así como esta energía se genera y es percibida por otros individuos, el resto de las manifestaciones de la energía vertida por una persona se propagarán y tendrán un efecto en las personas circundantes.

En una ceremonia del Mensaje de Silo, el oficiante, como ya se mencionó se ubica en el centro de la sala. Su energía se propaga de forma omnidireccional y llega a cada una de las personas que participan de la ceremonia y al mismo tiempo retorna a él mismo debido a la contribución de la cúpula esférica que refleja dicha energía hacia el centro. Los asistentes



reciben la energía del oficiante y le retribuyen con la energía que generan cada uno. Sin embargo, la energía del resto de las personas se propaga por el perímetro de la sala distribuyéndose y sumándose con el aporte de todos los asistentes. Un caso especial es el fenómeno que se sucede entre las personas que están en lados contrarios dentro de la sala. La forma de la pared se comporta como un buen radiador que proyecta la energía hacia adelante y un concentrador de la energía que viene de vuelta. Esto indica que valdría la pena observar quien está ubicado de frente a cada uno porque sus mejores deseos llegarán con mucha intensidad a aquellos que están en el lado opuesto.

Si dos personas sentadas una al lado de la otra, hablan simultáneamente cosas distintas. Esos sonidos se superponen, pero como son sonidos distintos se podrán distinguir, con algo de dificultad, porque la intensidad y la frecuencia de las oscilaciones son similares.

En el gráfico de la figura 4.16 se observan tres ondas superpuestas, pero en realidad los sonidos que se generaron simultáneamente corresponden a los trazos punteados y continuos de menor nivel. La curva de mayor energía sería la onda resultante. Ambos sonidos excitan de manera similar las estructuras del oído interno, pero gracias al atributo de la atención, los y las oyentes podrán decidir a qué sonido atender y por tanto comprender.

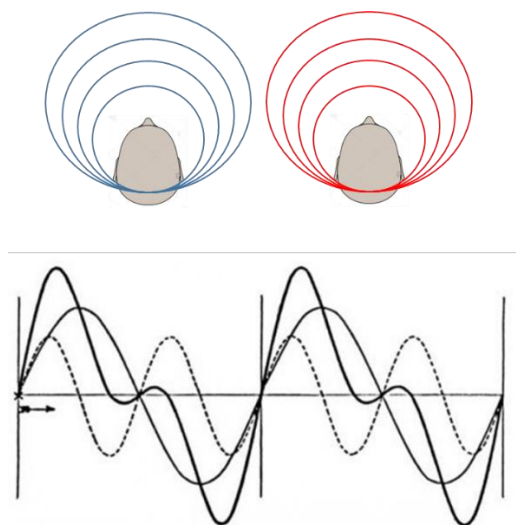


Figura 4.16 Superposición de sonidos distintos

Esto significa que el nivel total generado por dos fuentes sonoras distintas generando sonidos distintos, pero con el mismo nivel será 3 dB superior que el nivel individual. Por ejemplo, dos personas hablando cosas distintas con un nivel de 65 dB a 1 metro de distancia, generarán un nivel de 68 dB a 1 metro.

Pero, si ambas personas estuviesen diciendo lo mismo, como por ejemplo hablando o cantando al unísono, la expresión de superposición es:

$$P_T^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos(\theta_2 - \theta_1) \quad (6)$$



Donde  $\theta_1$  y  $\theta_2$  corresponde a la fase de cada una de las ondas emitidas

La fase de una onda es dependiente de la distancia que recorra desde una fuente a un determinado punto. Si los sonidos arriban en tiempos distintos a un determinado lugar la superposición podrá ser constructiva o destructiva.

Por ejemplo, si los sonidos emitidos por dos fuentes llegan al mismo tiempo a un punto, la diferencia de fase será cero. El coseno de cero es 1 y por tanto la presión total al cuadrado será la suma del cuadrado de ambas presiones. Es decir,

$$P_T^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 = (P_1 + P_2)^2 \quad (7)$$

Por lo tanto

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (8)$$

Las presiones se suman linealmente. Ahora, si las presiones, además, fueran iguales, la presión total sería 2 veces la presión de cada fuente. En términos de nivel de presión sonora, el nivel sería 6 dB mayor que el nivel individual.

Pero, si la diferencia de fase fuera de  $180^\circ$  ( $\pi$ ), entonces la expresión de la ecuación 6, quedaría como el cuadrado de un binomio resta, porque el  $\cos 180^\circ$  es -1.

En ese caso, las presiones se restarían

$$P_T = P_1 - P_2$$

Si las presiones fueran perfectamente iguales, la presión total sería cero, produciéndose una cancelación del sonido.

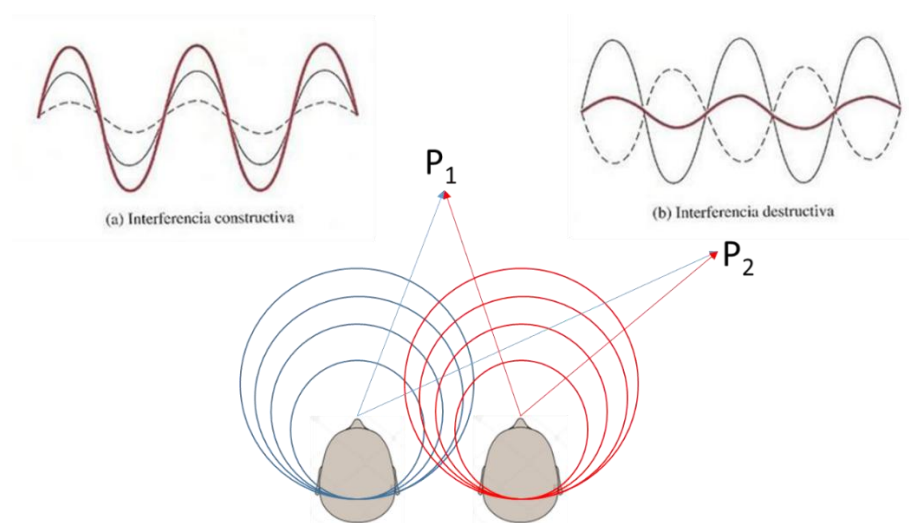


Figura 4.17. Superposición de dos fuentes sonoras dependiendo de la fase



En la figura 4.17 se puede observar que la superposición de las ondas generadas por dos fuentes que generan el mismo sonido dependerá del punto donde se evalúe. Por ejemplo, el P1 está a la misma distancia de ambos hablantes y, por tanto, el sonido de ambos llegará simultáneamente produciendo una diferencia de fase igual a cero y por lo tanto habrá una superposición constructiva, mientras que el punto 2 si hubiese un desfase de  $180^\circ$  habrá una superposición destructiva lo que se manifestará como una disminución del nivel resultante.

Este fenómeno es dependiente de la frecuencia del sonido y por tanto de la longitud de onda, por lo que las zonas donde se producirá la superposición destructiva dependerán de estos parámetros. Sin embargo, se ha demostrado que, si la distancia entre ambas fuentes sonoras es mucho menor que  $\lambda/4$ , entonces se producirá una superposición constructiva en todo el rededor. En este caso se hablará de fuentes coherentes.

Pero, si no hubiese emisión de energía mecánica o acústica ¿Habría un comportamiento similar o análogo? Es interesante sólo pensar que dos personas y más, cerca de 100, pidiendo los mismos deseos puedan superponer constructivamente la energía y desde el centro de la esfera emitir un pulso de alta energía hacia el mundo.

#### 4.4 Resultados de la medición de tiempo de reverberación

Para medir el TR se utilizó una cadena de medición constituida por un micrófono Beyer Dynamic MM1, una interfaz de audio digital Focusrite Scarlett 2i2 y un computador portátil Toshiba. Como fuente inicialmente se utilizaría una pistola de fogeo, sin embargo, aprovechando la calidad resonante del suelo se decidió utilizar un golpe y así excitar la sala con un espectro amplio de frecuencia. Otro aspecto que se decidió fue considerar varios puntos de emisión y captación. Estas mediciones se realizaron con la colaboración del destacado ingeniero acústico y Doctor en acústica Jaime Delannoy.



Figura 4.18. Instrumental de medición en la sala.

Como se aprecia en la figura 4.18, el micrófono fue montado en un pedestal y ajustado a una altura aproximada de 1,2 m. tomando como referencia la altura de una persona sentada en las bancas.



El sonido captado por el micrófono fue grabado usando el software Spectralab para luego hacer el análisis con los parámetros acústicos en una planilla de creación propia.

Se eligieron 3 puntos de emisión y 3 puntos de captación dando como resultado 9 mediciones en total. Con los audios obtenidos se determinó el parámetro T30. Los resultados para cada posición fueron promediados y los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempo reverberación T30 por bandas de frecuencia.

Posición	250	500	1k	2k	4k	Promedio
1	1,77	1,65	1,47	1,5	1,4	1,558
2	1,87	1,71	1,47	1,54	1,45	1,608
3	1,81	1,58	1,48	1,55	1,46	1,576

La posición 1 corresponde a la captación en el centro. Las posiciones 2 y 3 fueron tomadas en lugares representativas de la ubicación de los participantes a las ceremonias.

Como se puede apreciar de los resultados obtenidos, los valores para las bandas de 1kHz y 2kHz son muy homogéneos con mínimas fluctuaciones. En las bandas de 250 y 500 Hz el tiempo varía, aunque dentro de valores acotados. No se presentan resultados para la banda de 125 Hz debido a que no se obtuvieron datos consistentes.



Figura 4.19. T30 promedio por posición

Como se puede ver en la figura 4.19, el tiempo de reverberación promedio es bastante parejo lo que permite concluir que desde este punto de vista la sala es bastante homogénea y difusa.

Por otro lado, si se analiza el Tmid, que corresponde al promedio entre las bandas de 500 Hz y 1kHz para cada una de las posiciones consideradas los resultados se pueden analizar a partir de los siguientes datos:



Tabla 3. Tmid de la sala de ceremonias

Muestra	Tmid (seg)
1	1,48
2	1,5
3	1,51

Como se puede apreciar tanto en la tabla 3 como en la figura 4.19, el Tmid también es bastante parejo y fluctúa entre 1,485 y 1,515 seg.

Los resultados presentados son los obtenidos a partir de mediciones con la sala vacía salvo por 3 personas que las realizaron lo cual no es lo suficiente como para incidir en los resultados. No obstante, el tiempo de reverberación debiera cambiar si la sala estuviese llena. Las personas, tal cual como se mencionó anteriormente, absorben energía acústica debido a la ropa que usan. Por lo tanto, su influencia debiera variar dependiendo del tipo de vestimenta la cual varía según la época del año. Durante el verano, las personas usan ropa liviana y delgada, mientras que en invierno la ropa es más gruesa y pesada. Según Carrión (1998), la absorción por persona está dada por la siguiente tabla.

Tabla 4. Absorción de una persona App, en sabines (según Kath y Kuhl)

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
Persona de pie con abrigo	0,17	0,41	0,91	1,3	1,43	1,47
Persona de pie sin abrigo	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Persona sentada con instrumento	0,60	0,95	1,06	1,08	1,08	1,08

Como se puede apreciar, la absorción es mayor en frecuencias altas siendo muy baja en frecuencias bajas.

Para corregir el tiempo de reverberación considerando este dato se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$A_p = NA_{pp} \quad (\text{en sabines}) \quad (9)$$

Donde

N es el número de personas que se considerarán

App es la absorción por persona de pie o sentada.

A su vez,

$$A_{total} = \sum S_i \alpha_i + A_p \quad (10)$$





Para recalcular el TR se considerarán 100 personas sentadas. Se usarán los datos de la tabla 4 correspondiente a personas sentadas con instrumento que, si bien no se ajusta plenamente a la condición que se encontrará en la sala, es la situación más parecida.

Tabla 5. Tiempo de reverberación corregido debido a la absorción de personas

Posición	250	500	1k	2k	4k	Promedio
1	0,394	0,388	0,377	0,379	0,372	0,382
2	0,399	0,391	0,377	0,381	0,375	0,385
3	0,396	0,384	0,377	0,382	0,376	0,383

Como se puede apreciar. El tiempo de reverberación baja ostensiblemente con la sala llena lo que permite deducir que el control del sonido se hará más factible.

#### 4.5 Distribución sonora

Para calcular la proyección del nivel de presión sonora ( $L_p$ ) que genera una fuente sonora en un recinto cerrado se debe usar la siguiente expresión algebraica:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (dB) \quad (11)$$

Donde

$L_w$  es el nivel de potencia acústica radiada por la fuente sonora

$Q$  es el factor de direccionalidad de la fuente que en el caso de un hablante es 2

$r$  es la distancia desde la posición de la fuente

$R$  es la absorción métrica de la sala

Considerando que una persona al hablar genera alrededor de 65 dB a 1 metro de distancia y que la absorción es 39,1 m<sup>2</sup>Sab (dato extraído de los resultados de medición del tiempo de reverberación), el nivel varía según la distancia como los muestra la tabla 6.

Tabla 6. Nivel de presión generado por un hablante en función de la distancia

Distancia (metros)	$L_p$ (dB)
1	65
2	62,3
4	61,3
8	61
10	60,9

Si se grafica la progresión del nivel de presión sonora con la distancia se obtendrá el resultado que se muestra en la figura 4.20



Como se puede apreciar, la figura muestra un comportamiento normal para una sala reverberante donde en el campo cercano el  $L_p$  cae 3 dB cada vez que se duplica la distancia, pero en campo reverberante el nivel tiende a estabilizarse.

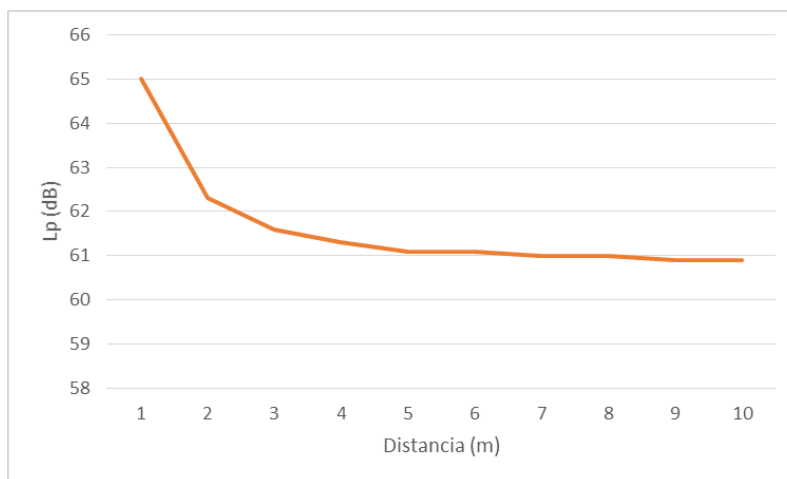


Figura 4.20. Disminución del nivel de presión con la distancia en sala vacía

Para establecer claramente el límite entre el campo directo y el reverberante es necesario evaluar la distancia crítica usando la expresión...

$$D_c = \sqrt{\frac{QR}{16\pi}} \text{ (metros)} \quad (12)$$

Al mismo tiempo se calcula la distancia límite ( $D_L$ ) que es aquella distancia donde el sonido directo es 10 dB menor que el sonido reverberante y por tanto deja de ser percibido.

Para la condición de sala vacía la distancia crítica  $D_c$  de la sala del parque es de 1,24 m., mientras que la distancia límite es de 3,9 m. Estos resultados son muy malos porque dejan entrever que más allá de los 4 metros de distancia es imposible entender un mensaje hablado.

En la figura 4.21 la semiesfera alrededor del hablando de color más oscuro representa la zona con sonido directo, más allá, el color rosado sería la zona de sonido reverberante. Bajo estas condiciones la percepción del sonido hablado sería muy malo.

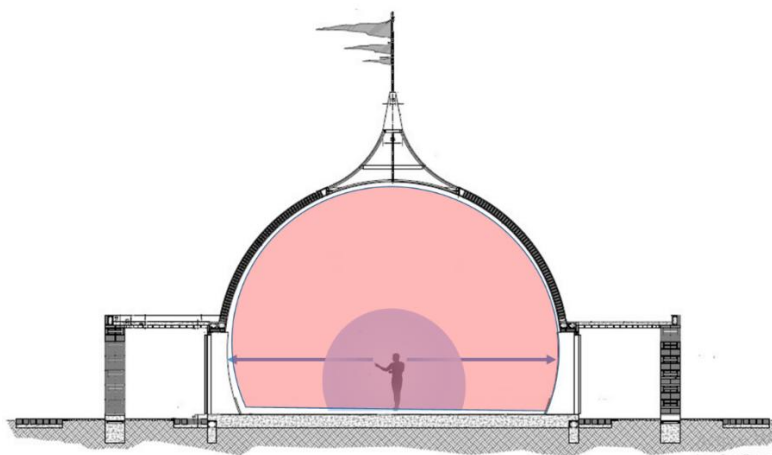


Figura 4.21. relación entre sonido directo y sonido reverberante con la sala vacía.

Pero, como ya se mencionó, la gente aporta con absorción acústica aumentando el parámetro R. En este caso, considerando 100 personas en el interior el R es de 494,5 m<sup>2</sup>Sab.

Tabla 7. Nivel de presión generado por un hablante a distintas distancias en sala llena

Distancia (metros)	Lp (dB)
1	65
2	59,56
4	55,3
8	53
10	52,6

Como es esperable, el nivel en general es menor debido a la mayor absorción de la gente, pero la energía reverberante al ser menor, permitirá mejor entendimiento.

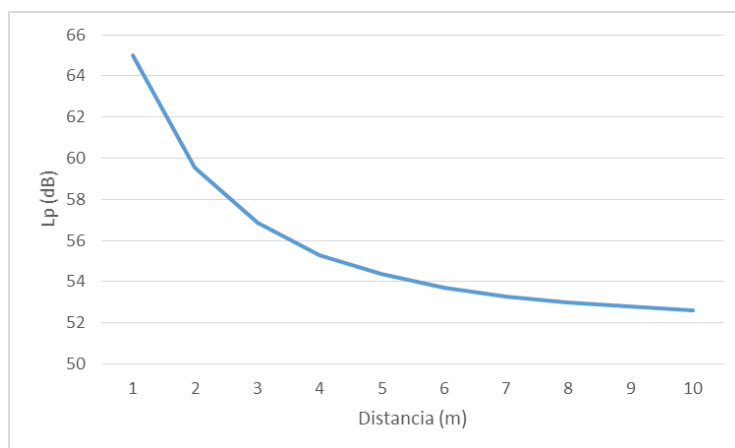


Figura 4.22. Disminución del nivel de presión de un hablante en sala llena con la distancia

Al recalcular La distancia crítica y la distancia límite con sala llena los resultados quedan:



$D_c = 4,43 \text{ m}$

$D_I = 13,92 \text{ m}$

En este caso, se puede apreciar que la gran mayoría de los asistentes quedarían dentro de la distancia crítica teniendo un buen entendimiento.

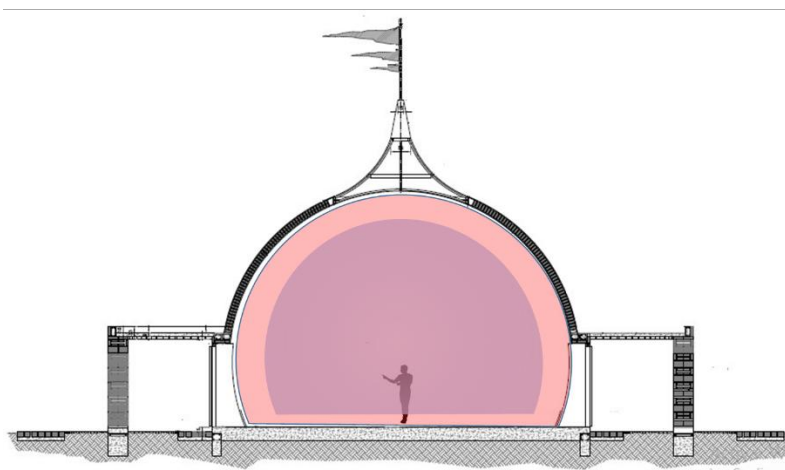


Figura 4.23 Relación entre sonido directo y reverberante en la sala llena

En esta nueva figura, al estar llena la sala el sonido directo abarcará un mayor radio cubriendo casi toda la sala.

**Nota: los modos normales de vibración no pudieron ser medidos debido a problemas logísticos, sin embargo, tanto el análisis de reflexiones como el de la distribución sonora aportan suficiente información para caracterizar la acústica de la sala.**

#### 4.6 Nivel de ruido de fondo

Para medir el ruido de fondo se utilizó un sonómetro Quest 3M Tipo 2. Se ubicó aproximadamente 1,5 m. de la puerta oriente que da hacia la carretera 5 Norte. La medición corrobora que el ruido más relevante es el que proviene de la carretera. Dicho ruido es de carácter fluctuante, dependiendo del tipo de vehículo que transita por el lugar. Los niveles máximos se obtienen al paso de camiones con carga estibada con lonas de plástico.

La tabla 8 muestra los valores obtenidos

Tabla 8. Niveles de ruido de fondo

Lmax	78 dB
Lmin	45 dB



Tomando en cuenta estos datos y los cálculos de  $L_p$  de un hablante en el interior de la sala con sala llena, la relación señal-ruido daría, esto es la diferencia entre el nivel de la fuente que se desea escucha y el nivel de ruido de fondo...

$$\text{Relación señal} - \text{ruido} = L_F - L_R \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

Donde  $L_F$  es el nivel de presión sonora de la fuente

$L_R$  el nivel del ruido de fondo

Tabla 9. Relación señal/ruido de un hablante en la sala llena

Distancia (m)	Relación S/R mínima (dB)	Relación S/R máxima (dB)
1	-13	20
2	-18,44	14,56
3	-21,13	11,87
4	-22,7	10,3
5	-23,64	9,36
6	-24,27	8,73
7	-24,7	8,3
8	-25	8
9	-25,2	7,8
10	-25,4	7,6

Como se puede apreciar, para cuando el nivel de ruido es máximo, la relación señal-ruido es negativa. Esto quiere decir, que el ruido es mayor que el discurso del hablante. La diferencia es tal, que más allá de 3 metros de distancia se produce un efecto de enmascaramiento que impide escuchar la voz. En situación de relativo silencio, la relación señal-ruido es menos mala, no obstante, el hablante debe esforzarse por generar un nivel mayor que los 65 dB a 1 m. típicos para una conversación normal.

#### 4.7 Evaluación de la inteligibilidad de la palabra

Como ya se mencionó anteriormente, la inteligibilidad de la palabra tiene que ver con la capacidad de las personas para entender un mensaje hablado.

Para evaluar la inteligibilidad de la palabra se pueden usar distintos descriptores, uno de los cuales es el Alcons o pérdida de articulación de las consonantes. Los factores que influyen en el Alcons son la relación señal-ruido y el tiempo reverberación, ambos parámetros ya descritos en los ítems anteriores.

Para determinar el Alcons se puede usar el gráfico de Peutz o usar la siguiente ecuación:

$$\% ALcons = \frac{200r^2T_{60}^2}{VQ} \quad (14)$$



Donde

$r$  es la distancia entre el oyente y el hablante (m)

$V$  es el volumen de la sala ( $m^3$ )

$Q$  es el factor de direccionalidad de la fuente, en este caso una persona hablando

$T_{60}$  es el tiempo de reverberación (s)

Tomando en cuenta que, si el hablante está en el centro de la sala, el oyente más alejado estaría a 4,7 m de distancia. Por otro lado, para evaluar el Alcons que tiene relación con las consonantes se toma el TR a 2kHz, así también como el  $Q$  para una persona hablando, que como ya se ha usado en este informe es de 2.

Reemplazando los datos en la ecuación el resultado es:

Alcons = 13,6% para sala vacía y

Alcons = 1% para sala llena

Esto quiere decir que el 13% de las palabras dichas por un hablante no se entenderían para cuando la sala esté vacía, mientras que sólo 1% de las palabras se perderían si la sala está llena.

Tabla 10. Calidad de la inteligibilidad de la palabra usando descriptor Alcons

%ALcons	Inteligibilidad
0-10	Muy buena
10-15	Buena
>15	Insuficiente

Si se consideran los criterios de la tabla 10, la sala del parque tendría una inteligibilidad de buena a muy buena. No obstante, por experiencia, se sabe que el entendimiento no es óptimo. Esta aparente contradicción estaría dada a que, a partir del análisis de reflexiones, el mensaje hablado es complejizado por la presencia de reflexiones tempranas potentes en la cúpula de la sala. Cada participante recibirá ecos (reflexiones) con un desfase entre 10 y 15 ms con niveles relevantes. Por tanto, se concluye que la reverberación debido a las reflexiones tardías no es el problema de esta sala sino las reflexiones tempranas.

## 5 Conclusiones

La sala de ceremonias del parque de Estudio y Reflexión Los Manantiales en Chile es una sala que posee una acústica compleja que muchas veces condiciona el mensaje hablado. Como en toda sala, el comportamiento variará con la cantidad de personas en su interior. Uno de los problemas están relacionados con su forma y la materialidad que produce



múltiples reflexiones que se superponen con el sonido proveniente de la fuente dificultando el entendimiento de los mensajes hablados. Dada su geometría y su materialidad se producen una serie de fenómenos de confusión con el efecto de procedencia, dificultando la identificación de la posición exacta de la fuente sonora. Esto es debido a que las personas escuchan de manera muy prominente reflexiones antes o con mayor intensidad que el sonido directo que provienen de la fuente.

Pero, no sólo la localización de las fuentes se ve afectada, otro problema, debido al propósito de esta construcción es el de la inteligibilidad de la palabra. En recintos muy reverberantes, los problemas de inteligibilidad están dados por la presencia de reflexiones tardías que arriban con mucha prominencia a los oídos de los asistentes siendo su energía más relevante que la del sonido directo. No obstante, aparentemente este no es el caso, debido a que las distancias crítica y límite están más allá de los límites de la sala cuando ésta está llena de gente. La principal dificultad estaría con las reflexiones tempranas, aquellas que llegan en tiempo muy cortos, menos de 100 ms a los oyentes. Esta dificultad se ve minorizada debido a que la gran mayoría de las personas que asisten a la sala conocen los textos que se leen o se enuncian como parte de las ceremonias del mensaje de Silo.

Sin embargo, el principal problema acústico que presenta este recinto es la cercanía con la carretera Ruta 5 Norte por donde circulan vehículos que generan niveles de ruido significativos, los que pueden llegar a enmascarar el sonido que se genera en el interior de la sala. La principal dificultad se presenta por la materialidad y el diseño de las puertas de acceso que no logran atenuar lo suficiente el ruido proveniente de la carretera. Cuando el mensaje hablado es mayor o igual a 20 o 25 dB en relación al ruido que se filtra desde el exterior, no hay problema. Pero, cuando esa diferencia es menor a 10 dB habrá dificultad para entender lo que se dice y, de acuerdo a las mediciones presentadas, hay ocasiones donde el ruido proveniente de la carretera supera largamente el nivel de sonido que puede llegar a generar una persona hablante produciendo una relación señal-ruido negativa. Esto hace que la voz sea enmascarada. Por tanto, sería de beneficio hacer el esfuerzo por mejorar el aislamiento de los accesos porque la carretera seguirá estando ahí.

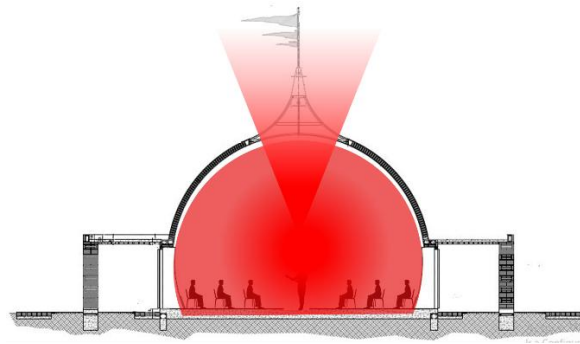
El propósito de este estudio era realizar un análisis acústico de la sala de ceremonias del parque de estudios y reflexión Los Manantiales de Chile, lo que a la luz de los antecedentes y evidencias presentadas se cree se cumple a cabalidad. También se propuso hacer una caracterización del comportamiento del sonido en su interior dependiendo de la ubicación de la fuente sonora y de los y las oyentes. Como se hizo hincapié, la forma en que se perciben los mensajes hablados dependen mucho de la ubicación del o la hablante y del o la oyente. La evaluación de la inteligibilidad de la palabra es más taxativo debido que bajo ciertos parámetros es buena y bajo otros, es mala. En términos generales se puede generalizar que la inteligibilidad será distinta en cada posición dentro de la sala.

La forma de este recinto responde a criterios distintos de los que se pueden formular para una sala donde la inteligibilidad de la palabra sea fundamental. Es importante recalcar esto,





porque lo fundamental es la experiencia de cada una de las personas que en humilde e intencionada búsqueda trata de comprender los misterios de la vida y del ser humano como especie a partir de la propia existencia. Y esto estaría relacionado con el tercer objetivo propuesto donde se puede decir que así como la energía acústica, toda energía humana se nutre concentrándose en cada una de las personas que entran a este espacio místico. La energía se concentra en el centro como en todo cuerpo geométrico tipo esférico pero además, la energía fluye de manera multidireccional y multidimensional fundiéndose y potenciándose. Y, como se supone, las personas que ingresan a este espacio lo hacen con el propósito de tener una experiencia significativa, dicha energía es expansiva produciendo un sinnúmero de efectos de fusión y fisión nuclear que produce una explosión energética que irradia del interior hacia el universo.



5.1 Representación de la sala como foco de radiación para el Mundo

### Referencias bibliográficas

- Arau, H (1999) *El ABC de la acústica arquitectónica*. Ediciones CEAC. Barcelona- España
- Carrión, A (1998) *Diseño acústico de espacios arquitectónico*. Edición UPC. Barcelona, España
- Ortiz, L (1992) *Refuerzo sonoro. Bases para el diseño*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España
- Silo (2010) *Apuntes de Psicología*. Ulrica Ediciones. Rosario-Argentina

### Sitios web

[https://www.ecured.cu/Cuerdas\\_vocales](https://www.ecured.cu/Cuerdas_vocales)

<https://es.slideshare.net/slideshow/la-lengua-como-sistema-fontica/53736515>



<https://parquealoasi.com/parque/>

<https://logmar.wordpress.com/graficos-de-interes/>

<http://afiorivocalcoach.blogspot.com/2009/01/registros-de-la-voz.html>

<http://miradasdeexploracion.blogspot.com/2013/11/informacion-sobre-el-oido-humano.html>

<https://www.hispasonic.com/tutoriales/como-ubicamos-sonidos-espacio-binauralidad-teoria-duplex/43279>

<https://tiemposdecambioweb.wordpress.com/category/psicologia/>

<https://view.genially.com/659ec313190677001409c21d/interactive-content-propiedades-del-sonido-y-efecto-doppler>

<https://cursodesonido.webnode.com.co/curso/sonido-1/a11-acustica-de-espacios-01/>