

**ANÁLISIS ACUSTICO DE PARTICIONES COMUNES. LA PÉRDIDA POR
TRANSMISIÓN DEL SONIDO Y LA REDUCCION DEL RUIDO PARA
MUROS DIVISORIOS EN EDIFICACIONES USUALES DE LA CIUDAD DE
POPAYAN. ANALISIS DE CASO PARTICULAR**



MIGUEL ANGEL CRUZ RAMIREZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
POPAYAN**

2007

**ANÁLISIS ACUSTICO DE PARTICIONES COMUNES. LA PÉRDIDA POR
TRANSMISIÓN DEL SONIDO Y LA REDUCCION DEL RUIDO PARA
MUROS DIVISORIOS EN EDIFICACIONES USUALES DE LA CIUDAD DE
POPAYAN. ANALISIS DE CASO PARTICULAR**

MIGUEL ANGEL CRUZ RAMIREZ

**Trabajo de investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Mg. JULIO CESAR DIAGO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
POPAYAN
2007**

Nota de Aceptación

Jurado

Jurado

**A mi madre
por su incondicional apoyo,
a mi padre, a Elizabeth, a toda mi
familia y a mis amigos,
quienes estuvieron a mi lado
en cada paso de este proyecto.**

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

Mg. Julio Cesar Diago, Ingeniero Civil, decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, por su confianza, motivación y valiosa colaboración durante la concepción, práctica y desarrollo de la presente investigación.

Arles Benitez, Ingeniero Electrónico, profesor del departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y de la Educación de la Universidad del Cauca por su importante colaboración en el desarrollo práctico de este trabajo.

En general a todas las personas que de una u otra forma colaboró con el desarrollo del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	15
1. EL SONIDO. GENERALIDADES, CARACTERIZACIONES Y OTRAS DISPOSICIONES	21
1.1 GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO	24
1.1.1 Propagación del sonido en espacios libres y cerrados	24
1.1.2 Transmisión, Reflexión y Absorción del Sonido	26
1.1.3 Acústica	29
1.1.4 Medición del sonido	30
1. 2 CONCEPTOS GENERALES DE LAS PARTICIONES O BARRERAS	
1.2.1 Barrera, partición, pared o muro Divisorio	32
1.2.2 Características acústicas de las barreras, particiones o muros divisorios	
1.2.2.1 Pérdida de transmisión del sonido	32
2. DESCRIPCION FISICA, LOCALIZACION, INSTRUMENTACION Y ACERCAMIENTO TEORICO – PRÁCTICO	36
2.1 EDIFICIO DE LA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL. Paradigma de las tendencias constructivas contemporáneas propias de la ciudad.	38
2. 1.1 Escogencia del sitio de pruebas	39
2.1.2 Descripción general y particular del aula. Observación global y unitaria	40
2.2 ACERCAMIENTO METODOLÓGICO	46
2.3 INSTRUMENTACIÓN. Relación de dispositivos de medición - elementos - metodología.	47
3. PERDIDA POR TRANSMISION SONORA Y REDUCCION DEL RUIDO. ANALISIS DE CASO ESPECÍFICO	50
3.1 FASE DE PRUEBA	50

3.2 FASE DE EXPERIMENTACIÓN I	65
3.3 FASE DE EXPERIMENTACIÓN II	86
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias de bandas de octava para estudio acústico.

Tabla 2 Coordenadas de los puntos de medida, con respecto a un origen ubicado en la esquina inferior izquierda de la superficie de la pared.

Tabla 3 Datos de los Niveles sonoros en la salida de la fuente y en la pared del salón.

Tabla 4 Valores correspondientes a los niveles sonoros en la salida y en el muro y sus respectivas media aritmética (M.A.), desviación estándar (D.E.), e índice de confiabilidad (I.C.) estimadas en cada frecuencia.

Tabla 5 Límites del rango de valores de los niveles sonoros para cada frecuencia medida, establecidos a partir la media aritmética y el nivel de confiabilidad.

Tabla 6 Análisis particular de parejas verticales de puntos en la pared con sus respectivos cálculos y estimaciones de media aritmética (M.A.), desviación estándar (D.E.), e índice de confiabilidad (I.C.).

Tabla 7 Niveles sonoros para determinar la pérdida por transmisión del sonido de la pared del salón.

Tabla 8 Pérdida por transmisión sonora PTS promediada espacialmente en cinco puntos. Resultados bajo un primer análisis de todos los datos tomados sin corrección alguna.

Tabla 9 Pérdida por transmisión sonora promediada PTS entre los valores por dentro de los límites superior e inferior de la media aritmética.

Tabla 10 Pérdida por transmisión sonora promediada corregida PTS_c calculada entre los valores por dentro de los límites superior e inferior de la media aritmética.

Tabla 11 Pérdida por transmisión sonora promediada corregida PTS_c calculada entre todos los valores.

Tabla 12 Comparación de cada conjunto de valores de PTS por frecuencia específica hallados en los cuatro métodos de análisis propuestos.

Tabla 13 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica aportada por la pared a partir de la ley de masas.

Tabla 14 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica teniendo en cuenta el efecto de coincidencia.

Tabla 15 Valores de la pérdida por transmisión sonora para una pared simple de ladrillo macizo de 140 mm de espesor.

Tabla 16 Cuadro comparativo de la pérdida por transmisión sonora de los análisis experimentales (PTS 1-4) con sus respectivos teóricos debido a la ley de masa (PTS Teórico 1) , ley de masa con efecto de coincidencia (PTS Teórico 2) y ensayo normalizado (PTS teórico 3).

Tabla 17 Coordenadas de los puntos de medida en el salón, tomando como origen la esquina inferior mostrada en el esquema, que en la realidad corresponde a la esquina formada por el flanco anterior y la extensión lineal del muso divisorio.

Tabla 18 Datos de niveles sonoros sobre la superficie del muro.

Tabla 19 Datos de los niveles sonoros dentro del salón.

Tabla 20 Determinación de los niveles sonoros promedios para cada punto en cada frecuencia probada.

Tabla 21 Diferencia de los valores globales del nivel sonoro dentro y fuera del recinto.

Tabla 22 Superficies escogidas del salón con sus respectivas áreas para cálculo del coeficiente de absorción.

Tabla 23 Coeficientes de absorción para las frecuencias probadas de cada material integrante del salón.

Tabla 24 Absorción para los elementos compositivos del salón y el mobiliario en cada frecuencia probada.

Tabla 25 Valores de la reducción de ruido real (método no convencional) y teórica, y su diferencia.

Tabla 26 Diferencias entre los valores de la pérdida por transmisión sonora experimental elegida (PTS 3) y normativa (PTS Norma).

Tabla 27 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica (PTS), la reducción del ruido experimental (N.R. 1), teórica (N.R. 2), la y la diferencia entre ellos (Dif.).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Reflexión de las ondas sonoras en una superficie plana.

Figura 2 Plano general del salón estudiado.

Figura 3 Esquema de la metodología práctica del proceso experimental.

Figura 4 Delimitación de las áreas hipotéticas isobáricas sonoras.

Figura 5 Número de mediciones con respecto a la desviación típica.

Figura 6 Mapas sonoros del muro.

Figura 7 Esquema de la ubicación de la fuente sonora.

Figura 8 Nomograma para corregir el ruido de fondo.

Figura 9 Esquema de ubicación de los puntos de medida dentro del salón.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Detalle del pasillo de tránsito exterior al salón.

Fotografía 2 Detalle interior y exterior del muro divisorio entre el salón y el pasillo.

Fotografía 3 Detalles de los cuatro flancos del salón.

Fotografía 4 Detalle de las ventanas (vista al exterior del edificio) – derecha y del acabado del piso con el guardaescobas – centro y puerta de ingreso al salón – izquierda.

Fotografía 5 Detalle del cielo raso – derecha y del mobiliario silla y mesa tipo – izquierda.

Fotografía 6 Detalle constructivo de la esquina formada entre la pared y la columna en la parte exterior del salón.

Fotografía 7 Parte exterior del muro divisorio que forma parte del conjunto total.

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Pérdida de transmisión sonora vs. frecuencia. Resultados bajo un primer análisis de todos los datos tomados sin corrección alguna.

Gráfica 2 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el segundo análisis.

Gráfica 3 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el tercer análisis.

Gráfica 4 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el cuarto análisis.

Gráfica 5 Pérdida por transmisión sonora vs. Frecuencia por la Ley de masas (curva superior) y por La ley de masas con corrección por el efecto reocidencia (Curva inferior).

ANÁLISIS ACUSTICO DE PARTICIONES COMUNES. LA PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN DEL SONIDO Y LA REDUCCION DEL RUIDO PARA MUROS DIVISORIOS EN EDIFICACIONES USUALES DE LA CIUDAD DE POPAYAN. ANALISIS DE CASO PARTICULAR.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis acústico de un elemento utilizado como muro divisorio, característico de edificaciones usuales en la ciudad de Popayán, con base en la pérdida por transmisión y la reducción del ruido aportada por este, mediante la utilización de una metodología no convencional que no está regida por ninguna norma técnica, y establecer una comparación lógica de resultados con sus correspondientes contrapartes teóricos y normalizados.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Lograr vincular otras variables al Proceso de Pre-diseño de los Edificios, que en estos momentos se califican como ajenas al mismo.
- Elegir un modelo representativo de un elemento divisorio característico de la ciudad de Popayán, a partir de su forma, función y composición, para aplicarle la metodología propuesta.
- Analizar las respuestas de los muros divisorios de una edificación, ante los niveles de presión sonora efectuados en diferentes frecuencias.
- Encontrar la pérdida por transmisión sonora a una partición o muro divisorio mediante la aplicación de procesos metodológicos propios, tratando de simular al máximo, con un equipo y unas condiciones altamente restringidas, los procedimientos normativos propios del área de estudio.

- Encontrar la reducción del ruido de un recinto que posea algún elemento divisorio característico a partir de procedimientos ideados de manera propia, tratando de acoplarse al máximo con los procedimientos teóricos y normativos del caso.
- Establecer diferencias entre los resultados arrojados por procedimientos teóricos y normativos y los obtenidos experimentalmente mediante la aplicación de una metodología no convencional.
- Analizar las virtudes y los defectos de la utilización de métodos no convencionales, de acuerdo con la forma y el tipo de equipos utilizados en ello.
- Concluir acerca de la efectividad, en términos de los resultados obtenidos, de la metodología y propuesta.

INTRODUCCION

*Lo propio de la ciudad es su avance voraz, su no reconocer fronteras,
su olvido sistemático de las tradiciones. Lo urbano es ahora el don
de armonizar lo opuesto, lo irreconciliable, lo duro, lo frágil,
lo marcado por las generaciones, lo que en sí mismo
empieza y se consume.*

Carlos Monsiváis

Durante la concepción general de un proyecto constructivo se suele dejar de lado algunos aspectos de vital importancia para el correcto aprovechamiento del mismo durante su etapa de funcionamiento.

Se concibe entonces la idea del proyecto constructivo, a partir, de que su estructura, como tal, sea apta para los requerimientos especificados, cumpliendo de esta forma con los códigos vigentes, y logrando un apto comportamiento de carácter estructural.

Sin embargo, en algunas oportunidades, el fin para el cual se ha de construir la edificación, es decir, la necesidad que se piensa satisfacer al ejecutar el proyecto, no se tiene en cuenta de forma directa al idear el diseño, debido a lo cual se tienen que tomar medidas alternas al momento del funcionamiento de la obra para tratar de “superponer” sobre la edificación elementos que permitan satisfacer dichas necesidades, y que muchas veces salen del entorno propio de la edificación y podrían perturbar comportamientos propios de su condición inicial.

Encontramos entonces aulas de clase totalmente oscuras y con problemas acústicos, sitios de vivienda expuestas a la luz solar de forma inclemente, auditorios estrechos, pasillos o corredores con aglomeraciones de gente no aptos para la capacidad de tráfico peatonal requeridos, etc.

Debido a esto surge la necesidad de estrechar márgenes constructivos y de diseño entre el objetivo propio de la edificación y su sistema edificativo para lograr así involucrar otras variables a la idea principal del diseño y su posterior proceso de construcción.

Hablamos de variables involucradas en el contexto físico del lugar de construcción tales como su posición respecto a la luz solar en las diferentes horas del día, y su

incidencia directa o indirecta en la edificación, el nivel de ruido presente en los alrededores, el contexto urbanístico en que se desenvuelve, entre otras.

Para este proyecto en particular, se toma una de esas variables generales en estudio, indirectamente. Se trata entonces de estimar la respuesta de la edificación ante la incidencia de los niveles de ruido – tanto internos como externos – en función del aislamiento que esta puede proveer, más que del acondicionamiento interno que se le desee proporcionar. Es a partir de la necesidad de valorar que tan idóneos se encuentran los distintos tipos de muros divisorios de las edificaciones más comunes para aislar los sonidos percibidos como molestos (ruidos) y que interfieren en las labores que se realizan dentro de ellas que surge la idea de desarrollar este proyecto de investigación.

Con el desarrollo de este Proyecto no se espera resolver el problema, solamente aportar indicios sobre el exceso o la carencia de efectividad de realizar una toma de datos sencilla y con equipos de fácil disponibilidad, con el fin de lograr incidir en una mínima parte de un gran problema que aqueja a la mayoría de personas que nos desenvolvemos en el medio urbano, los altos niveles de ruido presentes en nuestras ciudades.

Si bien, es sabido que en estos momentos gran parte de las invenciones de la ciencia se encuentran diseñadas con miras a disminuir el impacto ambiental que ellas generan, aun en nuestros días este planteamiento no se ha logrado imponer en todas las áreas de la industria, por lo que es indiscutible que la generación de ruido ocupa altos niveles en términos auditivos y está imprescindiblemente presente en la mayoría de lugares donde nos establecemos. Por lo tanto se hace necesario intentar combatir este problema de forma tal que logre incidir lo menos posible en nuestro cotidiano.

El estudio del sonido y sus implicaciones, sean estas de diversa índole, ha sido un tema de bastante recurrencia en los aspectos constructivos a nivel internacional. Existen datos del comportamiento sonoro en distintas áreas, para distintos materiales, en diferentes “ambientes”, en otras palabras se tiene codificado a través de características especiales ,

sean estas índices, variables, condiciones, etc., como es el comportamiento sonoro en función del medio y de la situación específica donde se desempeñe.

Existen correlaciones entre las variables particulares que inciden en la formación de molestias sonoras - niveles de ruido – y aquellas que permiten disminuir estas molestias sonoras – variables de aislamiento acústico -, de tal forma que, a partir de las características físicas propias de los muros se puede determinar su viabilidad acústica, en cuanto a aislamiento se refiere.

El objetivo inicialmente propuesto estaba orientado principalmente a comprobar el cumplimiento de los requisitos mínimos acústicos de los muros divisorios más comúnmente usados en las edificaciones de la ciudad de Popayán, expresados estos en función de un índice de aislamiento acústico normalizado internacionalmente; sin embargo durante el proceso práctico de investigación se pudo esclarecer que para lograr tal fin era necesario implementar una gran infraestructura, que nos arrojaría resultados bastante confiables acordes con el objetivo inicial ; en el recorrido de este camino , que incluía un detallado estudio del comportamiento del sonido, del análisis de fuentes de ruido molestas, y de la interpretación de normas internacionales ajustadas al temario investigativo, se logró entender que para el cumplimiento del objetivo formulado, el desarrollo e implementación del mismo se alejaba de las intenciones sugeridas para un trabajo investigativo del nivel del aquí presentado, por lo cual se decidió en la marcha atender a estas solicitudes y enmarcar el desarrollo práctico en un nivel más comprometido con lo que las posibilidades reales nos podían ofrecer.

En un principio el trabajo se desarrollaba en dos frentes claramente diferenciados, por una parte la comprobación de la eficacia acústica de los muros mencionados a partir de lo que la normatividad internacional nos indicara, y por el otro la posibilidad de reformar aquellos tipos de muros que no cumplieren con los índices mínimos de evaluación.

Después de un intensivo análisis de las normas internacionales que modulan la intervención y la efectividad acústica en diferentes elementos de construcción, se determinó que, más que una implementación total de la misma en nuestras condiciones, resultaba necesario idearse una forma más sencilla de lograr obtener los datos para caracterizar acústicamente algún recinto, con sus respectivos materiales constitutivos, ya que la mayoría de elementos utilizados en nuestro medio son también usados en otras latitudes, lo que representa que sus características intrínsecas se encuentran referenciadas ampliamente. En este orden de ideas, resultó oportuno, a través de una investigación bibliográfica, idearse un método, llamado aquí no convencional, y mediante este recolectar datos que nos sirvieran como referente para encontrar las características deseadas en el elemento escogido.

Este nuevo planteamiento incluyó la consecución de material y equipo específico con miras a realizar los ensayos o procedimientos para el fin deseado. A nivel práctico se recrearon las mejores condiciones posibles que nuestro presupuesto material nos permitió, tratando de abarcar y de cumplir las hipótesis teóricas que se mencionan en el cuerpo del trabajo.

Se dividió el trabajo en áreas plenamente identificables: en primer lugar se desarrolló todo un compendio de definiciones, conceptos, disposiciones, etc. para lograr internarse aunque de forma muy somera en el campo teórico del estudio del sonido. Posteriormente el trabajo de desglose intelectual se llevó a cabo en los terrenos constructivos; se determinaron tendencias, materiales, formas, etc. del quehacer urbanístico general en la región, en un marco elemental delimitado por el campo de acción investigativo y a partir de esto se definieron los primeros visos de la orientación práctica del trabajo. Una última parte nos informa del desarrollo experimental en el sitio de pruebas y de la interacción entre los datos tomados y los resultados derivados de todo el anterior conjunto de experiencias.

Este proceso empírico-investigativo arrojó una serie de testimonios físicos (cualitativos y cuantitativos) que se presentan más adelante en el trabajo y junto a ellos se referencian

algunos anexos de gran importancia para futuras incursiones en el tema y posiblemente represente solo un corto inicio en el pensamiento de las edificaciones desde un planteamiento multidisciplinar, encaminado a cubrir todos los requerimientos surgidos en el proceso.

1. EL SONIDO. GENERALIDADES, CARACTERIZACIONES Y OTRAS DISPOSICIONES

A partir de toda una gama de experiencias recorridas en el estudio de los temas aquí tratados, y gracias a la labor de recopilación bibliográfica, se presenta entonces un acercamiento al “Estado del Arte” del contexto donde se situó la Investigación, para abordar el problema de manera coherente. Esta presentación se realiza en los dos principales aspectos teóricos que se llevarán a cabo en el proceso, los cuales son el sonido y sus diferentes características y los muros divisorios con su respectivo análisis de comportamiento físico y el de sus materiales constitutivos, en función de las necesidades impuestas.

El sonido se ha definido de formas muy diversas. De todas ellas las más habituales son las siguientes:

- Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire) y que es capaz de producir una sensación auditiva, (...)
- Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso (Carrion Isbert, 2001, 27)

Sabemos que el sonido se transmite en forma de onda, así que su análisis corresponde al que se le realizaría a cualquier onda, conformada por sus propiedades básicas, aunque las peculiaridades que posee son también de nuestro entero interés. La forma de onda del sonido es sinusoidal y las características fundamentales de utilidad para el desarrollo investigativo son las siguientes:

Amplitud: “La medida de amplitud de una onda [sonora]...informa de la fuerza, o cantidad de energía, que se traduce en la intensidad que oímos, su unidad de medida es el Decibelio” (Medina Villegas 2002, 4). En otras palabras la amplitud denota el

máximo valor de la Presión Sonora, entendida esta última como: la “...fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie. [En una gráfica sinusoidal]...podemos observar la evolución de la presión..., en función del tiempo, en un punto situado a una distancia cualquiera de la fuente sonora. Dicha presión se obtiene como suma de la presión atmosférica estática P_0 y la presión asociada a la onda sonora P ” (Carrion Isbert, 28).

Nivel de presión sonora o nivel sonoro: El nivel es “...el logaritmo de la razón de una cantidad respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo. Hay que indicar la base del logaritmo, la cantidad de referencia y el tipo de nivel. (El tipo de nivel se indica mediante el uso de un término compuesto, como nivel de potencia sonora o nivel de presión sonora)... [Ahora, el nivel de presión sonora es] en el aire, 20 veces el logaritmo (de base 10) de una presión sonora determinada con respecto a la presión sonora de referencia de 20 micro pascales...” (Harris, VI 1995, 1.11) La unidad de medida es el decibel (dB). Para una presión sonora p tenemos que el nivel de presión sonora es:

$$L_p = 10 \log_{10} (p / p_0)^2 = 20 \log_{10} (p / p_0) \quad (1.1)$$

Donde p_0 es la presión de referencia.

Frecuencia (Altura o Tono): Se denomina así al número de oscilaciones por unidad de tiempo (se utiliza principalmente el segundo) que la presión o fuerza sonora, pasa por encima y por debajo de la presión atmosférica del ambiente, hasta completar un ciclo y su medida se da en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s).

Espectro Frecuencial:

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas (...) Se puede conocer que frecuencias componen un sonido

observando el denominado espectro frecuencial (o simplemente espectro) del mismo, entendiendo por tal la representación gráfica de las frecuencias que lo integran junto con su correspondiente nivel de presión sonora (Carrion Isbert, 29).

Timbre: “Cualidad específica que nos permite distinguir dos o mas sonidos iguales en altura (frecuencia), duración e intensidad (amplitud, volumen) producidos por diferentes instrumentos o voces” (Medina Villegas, 8).

Longitud de onda: “Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante del tiempo” (Carrion Isbert, 33).

Frente de onda: “De una onda progresiva en el espacio, una superficie continua en la que la fase es la misma para un instante determinado” (Harris, 2.8).

Angulo de incidencia: es el ángulo formado entre la dirección de la onda sonora y la superficie de la barrera que impide el paso o desvía la trayectoria de esta.

Velocidad del sonido: “La velocidad de propagación del sonido (c) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y 22° C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de aproximadamente, 345 m/s” (Carrion Isbert, 32)

Campo sonoro: “Una región de un medio elástico (como el aire) que contiene ondas sonoras” (Harris, 2.4)

Conociendo los conceptos anteriormente formulados, también se exige el conocimiento de otras disposiciones sonoras:

Ruido: En este trabajo aceptaré la definición de ruido trabajada más comunmente, la cual se refiere al ruido como un sonido indeseable.

Ruido de fondo: Se refiere al nivel de ruido presente en un recinto, cuyas fuentes generadoras pueden provenir tanto del interior como del exterior del mismo y que puede interferir en la correcta legibilización del entorno sonoro del oyente. Su lectura se realiza en Decibeles. “El ruido de fondo esta relacionado con la intensidad del sonido, debido al efecto que tiene sobre la claridad [de la fuente sonora principal dentro del recinto, por ejemplo, en los recintos] ruidosos se puede requerir una amplificación del sonido , que no seria necesaria en [los] silenciosos”(Owens-Corning-Fiberglass, 1991, 8).

Clasificación de los sonidos: Los sonidos se clasifican en deterministas y aleatorios. Los primeros se refieren a aquellos sonidos que pueden ser representados mediante una expresión matemática indicando la forma en que varía la presión sonora en función del tiempo, mientras que los segundos se relacionan con vibraciones (generaciones de ondas sonoras) irregulares que nunca se repiten exactamente y solo pueden ser descritas mediante parámetros estadísticos. Estos últimos están formados por muchas frecuencias de valor impredecible y habitualmente reciben el nombre de ruidos.

1.1 Generación y Propagación del sonido

1.1.1 Propagación del sonido en espacios libres y cerrados.

“Las ondas de sonido...viajan en todas las direcciones en la misma forma que las ondas de agua se extienden sobre la superficie de un estanque a partir del punto en que cae una piedra [en el fenómeno conocido como omnidireccionalidad]...A medida que la onda de

sonido avanza, la presión del sonido disminuye proporcionalmente a la distancia en que esté de la fuente origen”(Owens-Corning-Fiberglass, 2).

Cuando una onda es generada y propagada, ésta crea en la región donde se desplaza su campo sonoro y éste se determina a partir de sus cualidades de desplazamiento y de propagación. Por ende estas cualidades difieren de acuerdo con el sitio de propagación, sea este libre o cerrado.

En...“la inmediata vecindad a la fuente [el campo sonoro] se conoce como *campo próximo*. La dimensión de este campo es difícil de definir, ya que depende de muchos factores, tales como la frecuencia, dimensiones de la fuente y fases de las superficies radiantes”(Lopez Recuero 2001).

El campo libre definido como “un campo sonoro en un medio isotrópico homogéneo [donde sus límites] ejercen una influencia insignificante sobre las ondas sonoras”(Harris, 2.3-2.4), se presenta en la región consecutiva a la del *campo próximo*.

Posterior a estos dos campos se encuentra el *campo sonoro directo*, que es la porción del campo sonoro donde el sonido no ha sufrido ninguna reflexión. Después encontramos otra región conocida como *campo sonoro lejano*, que a su vez actúa como un *campo directo*.

En espacios abiertos ideales, –sin restricciones sonoras y emitidas en una zona silenciosa- donde no existan posibilidades de que la onda sonora se encuentre con algún obstáculo, el sonido propagado cambia sus campos sonoros en función de la lejanía o cercanía de la fuente, y para un observador-receptor estas ondas serían las únicas que llegarían, siempre y cuando se encuentre a una distancia tal que la intensidad del sonido resulte audible para el ser humano. No obstante en las situaciones reales el suelo, los elementos naturales, y las formas topográficas ejercen como superficies reflectantes y absorbentes.

Ahora...“la naturaleza del campo sonoro que rodea a una fuente en un recinto, está formado por el *campo sonoro directo o libre* y por el *campo sonoro reverberante*. . . En la región conocida como *campo lejano*, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB cada vez que la distancia entre la fuente y el punto de observación se duplica, actuando como en el espacio libre”(Lopez Recuero).

Respecto a la propagación en este tipo de espacios Antoni Carrion nos define muy concretamente lo siguiente:

Cuando una fuente sonora situada en un recinto cerrado es activada, genera una onda sonora que se propaga en todas las direcciones. Un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo recibe dos tipos de sonido: el denominado sonido directo, es decir aquel que le llega directamente desde la fuente sin ningún tipo de interferencia y el sonido indirecto o reflejado originado como consecuencia de las diferentes reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies límites del recinto (Carrion Isbert, 47).

1.1.2 Transmisión, Reflexión y Absorción del Sonido.

Después de lograr diferenciar los elementos característicos de la propagación del sonido en un espacio abierto y en uno cerrado, siendo éste último de mayor utilidad para el desarrollo que se propone, es necesario identificar tres conceptos propios de la propagación: la transmisión, la reflexión y la absorción.

Transmisión del sonido: En el proceso de propagación sonora la onda posee una cantidad de energía que, dependiendo de ciertas condiciones de su campo sonoro y del sitio de propagación, puede ser constante o variable espacial y temporalmente. obstante cada frente en cualquier espacio o tiempo conserva parte de esta energía y al encontrar alguna barrera que le impide desplazarse libremente llega con la cantidad energética propia a este elemento. Cuando la onda sonora incidente reparte su energía sobre la superficie de la barrera sus características cambian, una parte de la onda “rebota” en la

barrera, otra parte es absorbida por la misma y una tercera fracción logra “pasar” a través de la partición y radiarse al lado opuesto de la misma. Este último proceso se conoce con el nombre de transmisión¹.

Reflexión del sonido

El sonido que llega a la barrera representado por su nivel sonoro, su ángulo de incidencia y demás características propias, que “rebota” sobre ésta superficie, se “devuelve” en sentido opuesto a través del medio donde se propagó (aire) con una dirección equivalente a la que tendría si fuese emitido por una fuente ubicada análogamente a la real, al lado opuesto de la barrera, llamada fuente imaginaria. Este cambio de dirección de la onda es lo que se llama reflexión. En cada proceso de reflexión existe una pérdida de energía siempre y cuando exista transmisión y absorción a través de la barrera, mas si la pared es perfectamente rígida no absorbe ninguna cantidad energética y por lo tanto cada reflexión no tendría pérdida de energía, y la onda reflejada produciría la misma presión en un punto que originaría una onda generada en la fuente imaginaria con la misma potencia que la real en dicho punto.

Acerca del comportamiento del sonido reflejado :

En un punto cualquiera del recinto la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas. Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y mas absorbentes sean los materiales empleados (en las superficies externas de los muros), menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones.

¹ Los tres fenómenos aquí descritos basan su comportamiento en cantidades energéticas de la onda incidente, por lo cual cada uno de ellos conserva una porción de la energía total que tenía la onda antes de su paso por la barrera. Este proceso se hace evidente a través de los niveles sonoros propios de cada fenómeno, ya que el sonido posee una cantidad menor de presión sonora después de su proceso de transmisión.

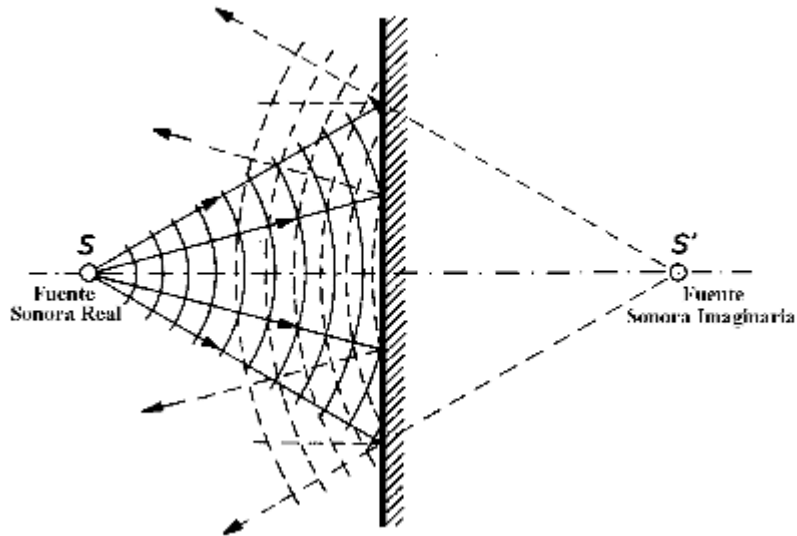


Figura 1 Reflexión de las ondas sonoras en una superficie plana. (Tomado de Recuero Lopez, 2001)

Al analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera del recinto (...), se observan básicamente dos zonas características(...): una primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, y que reciben el nombre de primeras reflexiones o reflexiones tempranas (“early reflections”), y una segunda formada por reflexiones tardías que constituyen la denominada cola reberverante (49).

Absorción del Sonido

En forma general la absorción del sonido puede ser definida de la siguiente forma: “(1) La propiedad que poseen los materiales , estructuras y objetos de convertir el sonido en calor, dando como resultado la propagación en un medio o la disipación cuando el sonido golpea una superficie. (2) El proceso de disipación de la energía sonora” (Harris, 2.1).

Siguiendo el curso de la segunda definición y los anteriores conceptos relacionados con la propagación del sonido, observamos que, una fracción del sonido es reflejado por las particiones de los recintos (incluidos techos y pisos), y otra fracción es transmitido,

quedando un residual energético que es absorbido por las superficies de éstas particiones. La fracción de esta energía que logra ser absorbida se conoce con el nombre de “coeficiente de absorción del sonido” y es característico y constante para cada material en función de las frecuencias originadas por la fuente sonora.

La absorción del sonido de un elemento se expresa en términos de su coeficiente de absorción y su área superficial, la cual puede ser calculada mediante una ecuación, de la siguiente forma :

$$A = \alpha S \quad (1.2)$$

Donde α es el coeficiente de absorción

S es el área superficial

Si el área se expresa en pies cuadrados (ft^2), su unidad de medida es el Sabine, pero si se expresa en metros cuadrados (m^2) es el Sabine métrico.

“Cuando se trata de un objeto o una pared, se define el "área de absorción equivalente" como la de una pared perfectamente absorbente que tuviese el mismo coeficiente de absorción que la considerada. En el caso de un recinto se considera la suma de todas las áreas de absorción equivalente. La razón entre el área de absorción equivalente de una superficie y su área real se llama "factor de Sabine".” (López Recuero)

1.1.3 Acústica

“La acústica incluye la generación, transmisión, recepción, absorción, conversión, detección, reproducción y control del sonido.

Aplicada a edificios, la acústica es la creación de condiciones necesarias para escuchar cómodamente y de los medios para controlar los ruidos (Ibídem).

Es necesario también hacer referencia al adjetivo calificativo acústico (a), el cual posee los siguientes significados:

...contiene, produce, surge de, actúa por, o relacionado con el sonido. Se utiliza acústico (acoustic) cuando el término que se está calificando designa a algo que tiene propiedades, dimensiones o características físicas asociadas con las ondas sonoras (p. ej.: impedancia acústica);... [sin embargo también]... se utiliza acústico (acoustical) cuando el término calificado no designa explícitamente a algo que tenga las propiedades, dimensiones o características del sonido (p. ej.: ingeniería acústica). (Harris, 2.2).

Aislamiento Acústico general

Referido a edificaciones el aislamiento acústico general se puede definir como la generación de las condiciones necesarias para garantizar unos determinados niveles de ruido mínimos dentro de un recinto, en función de la reducción de la cantidad de presión sonora incidente proveniente del exterior a través de las particiones (suelo-techo-puertas-ventanas-uniones) del mismo. Cada elemento aporta un aislamiento particular y la suma de todos ellos se considera el aislamiento que provee el recinto.

1.1.4 Medición del sonido.

Según anota Carrion:

Debido a la complejidad del funcionamiento del oído humano, hasta el momento actual no ha sido posible diseñar un aparato de medida objetiva del sonido que sea capaz de dar unos resultados del todo equivalentes, para cualquier tipo de sonido, a las valoraciones subjetivas asociadas al mismo. Sin embargo resulta evidente la necesidad de disponer de un instrumento electrónico que permita medir sonidos bajo unas condiciones rigurosamente prefijadas, de manera que los resultados obtenidos sean siempre objetivos y repetitivos, dentro de unos márgenes de

tolerancia conocidos. Dicho aparato recibe el nombre de sonómetro. El sonómetro mide exclusivamente niveles de presión sonora (2001, 39).

Red de Ponderación A :

Debido a la diferente sensibilidad del oído a las distintas frecuencias, los valores obtenidos haciendo uso de la escala lineal, [escala sin ningún tipo de acentuación para medir niveles sonoros], no guardan una relación directa con la sonoridad del sonido en cuestión. Con objeto de que la medida realizada sea mas representativa de la sonoridad asociada a un sonido cualquiera, los sonómetros incorporan la llamada red de ponderación A...Los niveles de presión sonora medidos con la red de ponderación A se representan con las letras L_A y se expresan en $dB(A)$ ². (2001, 40-41).

Análisis frecuencial de la señal

Se refiere a un detallado análisis con relación al contenido energético (niveles de presión sonora) de su espectro de frecuencias. Para este análisis se han estandarizado las bandas de frecuencia que se utilizan, entendiéndose lo anterior como una selección de frecuencias específicas relacionadas de algún modo físico. La norma ISO 266 normalizó este procedimiento determinando que la banda a utilizar es la banda de 1 octava, la cual incluye todas las frecuencias comprendidas entre una frecuencia dada y la frecuencia doble.

En las fases de diseño acústico generalmente se consideran las seis bandas cuyas frecuencias centrales están comprendidas entre 125 Khz y 4000 Khz.

Frecuencias de Bandas de octava (Hz)					
125	250	500	1000	2000	4000

Tabla 1 Frecuencias de bandas de octava para estudio acústico.

² Mas adelante se explica el uso que se le dio al sonómetro en la experimentación, utilizando la red de ponderación A, sin embargo se obvió la forma de expresión y todos los datos obtenidos en las mediciones realizados con estas ponderación se expresan simplemente como dB, mas no como dB(A).

1. 2 Conceptos Generales de las Particiones o Barreras

1.2.1 Barrera, partición, pared o muro Divisorio.

Se define barrera, partición, pared o muro divisorio como aquel elemento homogéneo, sólido que siendo constituido por otros componentes menores actúa como un todo, dividiendo los espacios interiores de una edificación, desde el nivel inferior hasta el superior de una misma planta. Puede tener sus dos caras exteriores rígidamente conectadas o poseer un espacio libre entre ellas.

Materiales Constitutivos

Se refiere a todo aquel material que forma parte de la barrera aislante aportando individualmente a las condiciones físicas de las mismas en cuanto a las propiedades que se están evaluando.

1.2.2 Características acústicas de las barreras, particiones o muros divisorios

1.2.2.1 Pérdida de transmisión del sonido

A.C.C. Warnock y J.D. Quirt en Harris, nos referencian la pérdida por transmisión de la siguiente forma:

Cuando las ondas sonoras chocan con una partición, las presiones sonoras variables que actúan sobre ella hacen que vibre. Una parte de la energía vibratoria transportada por las ondas sonoras es transmitida a la partición, cuya vibración pone en movimiento el aire situado en el otro lado, generando sonido. [De este modo]...la pérdida por transmisión (TL) es la relación entre la energía sonora incidente sobre la pared y la energía sonora transmitida y se expresa en Decibelios. [Para paneles simples] la pérdida por transmisión del sonido... depende sobre todo de su masa por unidad de área, su rigidez y el amortiguamiento intrínseco en el

material o en los bordes del panel. [Para particiones dobles y/o paredes huecas] la transmisión del sonido depende del acoplamiento mecánico, (si lo hay), entre las particiones individuales, sus masas, la profundidad de la cámara de aire y el material absorbente del sonido (si lo hay). (V2 1995, 31.1, 31.9).

En el folleto publicado por Owens, Corning - Fiberglass de Colombia, se refieren a la pérdida de transmisión de la siguiente manera:

“El coeficiente de transmisión de una partición corriente es una fracción muy pequeña (de la energía incidente), alrededor de 0.001 a 0.01 y por eso es mejor usar una cantidad equivalente para los cálculos que se vayan a efectuar y se denominan Pérdida por transmisión (Transmission Loss: TL) indicada en decibeles. Esto se define de la siguiente manera: ...” (1991, 30):

$$TL = 10 \log_{10} (1/\tau) \quad (1.3)$$

Donde TL es la pérdida por transmisión sonora y
 τ es el coeficiente de transmisión de la partición

Sin embargo A.C.C. Warnock y J.D. Quirt nos aportan una definición más sencilla de la Pérdida por Transmisión (Harris, 31.6), conocida también como la Ley de Masa³:

$$TL = 20 \text{Log}_{10} (mf) - 48 \quad (1.4)$$

Donde TL = pérdida por transmisión en dB

m = masa de superficie en Kg/m^2

f = frecuencia en Hz

³ La ley de masa es una expresión semiempírica que puede utilizarse para predecir la pérdida por transmisión de particiones delgadas homogéneas simples.

“Se espera un aumento en la pérdida por transmisión al aumentar la masa, ya que cuanto más pesada es la partición, menos vibra en respuesta a las ondas sonoras y, por tanto, menos energía sonora irradia hacia el otro lado. La ley de masa se aplica a paneles delgados de los materiales de construcción mas frecuentes por debajo de la frecuencia de coincidencia” (Harris, 31.6).

La norma ASTM E 90⁴ define el coeficiente de transmisión del sonido- Sound Transmission Coefficient de la siguiente manera (unidad de medida: adimensional): de una partición, en una frecuencia de banda (frequency band) específica, la fracción de la fuerza sonora incidente, transmitida por el aire, que es radiada hacia el otro lado (... , a menos que se limite, este término indica el coeficiente de transmisión del sonido obtenido cuando el espécimen es expuesto a un campo de sonido difuso aproximado, como por ejemplo, en habitaciones reverberantes conociendo los requerimientos de el método de prueba ...)⁵.

Rigidez y efecto de coincidencia:

Existe una diferencia entre la pérdida por transmisión que predice la ley de masa y la pérdida real que se presenta al evaluar las particiones, debido a la rigidez y amortiguamiento de las mismas que controlan esta pérdida en un rango de frecuencias determinado. Este efecto se distingue principalmente en una frecuencia conocida como “frecuencia crítica”. En frecuencias adyacentes y consecuentes a la crítica se presenta una reducción del nivel medio de la pérdida por transmisión, llamada “efecto de coincidencia”. La frecuencia crítica a la que se produce esta reducción depende entonces de la rigidez y el grosor del material, así que cuanto más rígido y más grueso sea el material, menor será la frecuencia crítica del mismo, lo que se ve representado en

⁴ La norma ASTM E 90 “Standard test method for Laboratory of airborne sound transmisión loss of building partitions and elements” define los términos, las pruebas, los requerimientos, y el procedimiento para calcular las perdidas por transmisión sonora de diversos elementos constructivos, mediante la creación de un laboratorio especializado que recrea las condiciones necesarias para unos resultados óptimos y con altos estándares de confianza.

⁵ En el cuerpo general del desarrollo práctico de la investigación se retoma el término de pérdida por transmisión sonora a partir de lo definido por Arau para ciertas condiciones especiales de generación y difusión sonora.

una reducción en el índice clase de transmisión del sonido (STC por sus siglas en inglés).

Índice de Aislamiento Acústico

La pérdida por transmisión de una partición varía con la frecuencia del sonido, aumentando por lo general a medida que lo hace la frecuencia,... (aunque también depende de la dirección de la onda sonora incidente, la información disponible sobre la pérdida por transmisión es casi siempre una media para todos los ángulos de incidencia). Esta variación con la frecuencia hace difícil comparar la eficacia de dos particiones diferentes. Por esta razón, es conveniente tener un único índice numérico para caracterizar las particiones. [A estos índices se les conoce como Índices de Aislamiento Acústico] (Harris, 31.2).

Clase de transmisión sonora

La clase de transmisión sonora (STC) es un índice de número único calculado de acuerdo con la clasificación ASTM E 413, mediante el uso de valores de pérdida por transmisión del sonido. Se obtiene a partir de las pérdidas por transmisión del sonido en las 16 bandas de tercio de octava entre 125 y 4000 Hz. Se basa en el ajuste de una curva de referencia de valores de pérdida por transmisión sobre los datos medidos hasta que se satisfacen los requisitos de la norma: ningún valor individual de pérdida por transmisión está mas de 8 dB por debajo de la curva de referencia y la suma de las discrepancias negativas no puede superar 32 (Harris, 31.2).

2. DESCRIPCION FISICA, LOCALIZACION, INSTRUMENTACION Y ACERCAMIENTO TEORICO – PRÁCTICO

En Colombia, ha sido reiterativo y predominante el uso de dos materiales básicos para la construcción a pequeña y gran escala, durante los últimos cincuenta años. El concreto simple y reforzado y la mampostería de elementos arcillosos⁶, sea ésta simple, confinada o reforzada. Si bien es cierto que durante los primeros años de desarrollo urbano se utilizaron métodos artesanales para construir pequeñas edificaciones de uso residencial, estos se vieron desplazados por las nuevas tendencias y nuevos materiales implementados a partir de una industrialización de los procesos y de los respectivos materiales.

La creación y consolidación de fábricas de producción de elementos arcillosos y la automatización de la producción cementera al tiempo que la instalación de empresas extranjeras redujeron los costos y aumentaron las ofertas de estos materiales logrando colocar en boga su utilización para diferentes tipos de estructuras.

El uso del concreto presentó una tendencia hacia la materialización en las partes estructurales de las edificaciones, siendo el componente principal de vigas, columnas, losas y demás elementos estructurales primarios componentes del edificio. Los elementos de arcilla, en sus distintas presentaciones, han sido utilizados principalmente en la construcción de muros divisorios, con sus particularidades.

Las edificaciones comunes predominantes en Colombia poseen características constructivas similares, de acuerdo con la(s) región(es) donde se edifiquen y el uso que se les asigne. Fundamentalmente el conjunto constructivo de edificaciones en áreas urbanas lo constituye en su mayoría aquellas destinadas a vivienda en zonas

⁶ “La mampostería, en general, consiste en una masa sólida que se produce al pegar unidades sueltas o mampuestos. El material adhesivo tradicional es el mortero. Las unidades incluyen una variedad de materiales, pero los comunes son los siguientes: Roca (...), Ladrillo (...), Bloques de concreto (...), Bloques huecos de barro, Bloques de yeso (...)” (...), siendo estos dos últimos elementos de poco uso en la región .(Parker, 1995, 471).

residenciales y todas las variaciones que éstas pueden traer consigo, mediante su adecuación para otros usos, preferentemente el comercial. Existe otro tanto destinadas a fábricas, oficinas, locales comerciales, hospitales, etc.

Sin embargo entre las edificaciones correspondientes a distintos usos se conservan tendencias similares en cuanto a la disposición, composición y forma de los elementos que las componen, y se ve más acentuada en algunas partes de la construcción que es común a la mayoría de estos inmuebles. Un ejemplo de este caso son los muros divisorios entre los espacios internos, los cuales presentan una condición semejante, independiente del contexto urbano propio.

Esta particularidad, apropiada cultural y económicamente dentro del proceso constructivo ha generado innumerables ventajas y desventajas que fluctúan cronológicamente, conforme los hábitos y las tendencias de los pobladores urbanos las condicionan, surgiendo necesidades y requerimientos que anteriormente no se asumían, por lo cual, el uso innegable de estos elementos de obra repetidos en cada edificación, origina inconvenientes que aun no se reconocen con el respectivo criterio.

Pese a esto, y obviando cada problemática adjudicada a ello, es necesario abordar las principales características que surgen del estudio morfológico de estos módulos divisorios, por lo menos a nivel regional.

En la ciudad de Popayán, sin ser excepción, se presentan también características asignadas a otras regiones del territorio nacional y las costumbres constructivas propias no difieren en gran medida de las que se reconocen en otros ámbitos. Básicamente el factor que discrimina la unificación de la forma y la función constructivas lo constituyen el origen y la fabricación de los materiales involucrados en el proceso. Los materiales para muros (ladrillos y mortero de pega) provienen de fábricas aledañas al lugar, pero el método y los procedimientos de materialización son básicamente los mismos.

Si partimos del hecho tácito que nos indica que existen diversos ejemplos para lograr un análisis de un mismo elemento, entonces podemos tomar un caso concreto que nos llevaría a generalizar, a partir de su estudio detallado, las características de las que hablamos.

En el marco de esta investigación se concretaron inicialmente los objetivos anteriormente mencionados (ver objetivo general y objetivos particulares o específicos) y a partir de dicha clarificación y teniendo en cuenta otras tantas implicaciones se decidió utilizar un espacio definido que nos permitiera desplegar un proceso correcto con miras a obtener resultados ajustados a lo que se observa en la contraparte real.

Las facilidades de acceso, de desplazamiento, de equipamiento, etc. nos llevaron a decidir que dentro del edificio de la Facultad de Ingeniería Civil existían lugares que se ajustaban a las condiciones observadas en gran parte de las edificaciones representativas del área urbana y que las partes del edificio constituían un gran ejemplo práctico de los usos y disposiciones que se le otorgan en forma general de los materiales a los que aquí se hace referencia.

2.1 Edificio de la Facultad Ingeniería Civil. Paradigma de las tendencias constructivas contemporáneas propias de la ciudad.

El Edificio de la facultad de Ingeniería Civil está ubicado en el sector de Tulcán al oriente de la ciudad de Popayán y pertenece a la planta física del alma mater de la Universidad del Cauca. Su estilo constructivo obedeció inicialmente a las directrices propias de la arquitectura “moderna” características de mediados del siglo XX. Construido en 1950 ha sido objeto de varias reformas, la principal de ellas consistente en una reconstrucción de gran parte de su estructura por daños presentados a raíz del terremoto que azotó la ciudad el 31 de Marzo de 1983, lo que generó cambios en su aspecto arquitectónico general, ocasionando un reconocimiento del mismo en dos grandes conjuntos estructurales y estéticos claramente diferenciados.

A nivel global el edificio antiguo y el moderno comparten el mismo sistema constructivo, correspondiente a una serie de marcos rígidos en concreto armado ortogonales, con elementos horizontales o losas apoyadas en estos y muros divisorios en ladrillo común dispuestos en soga y adheridos con mortero de pega. Los acabados de los muros, en forma muy general, son estuco y pintura tradicional, posee techos en cielo raso de distintos materiales, suelos en baldosa y granito pulido, ventanas de marco metálico y puertas en madera o en metal.

La disposición arquitectónica es tradicional del uso para el cual fue concebido, ya que posee espacios relativamente grandes para la ubicación de las aulas de clase, laboratorios, oficinas, etc., propios de una universidad.

Este modelo constructivo representa claramente muchas condiciones, costumbres y métodos utilizados en edificios de poca altura, por lo tanto abordar el problema aquí propuesto exigía entonces escoger dentro de este lugar un espacio que nos permitiera proceder metodológicamente de forma correcta. Se buscaba un muro divisorio característico de la región y en el edificio existían muchos que cumplían dicho requisito general, de forma que se involucraron otras variables para especificar el lugar de acción.

2. 1.1 Escogencia del sitio de pruebas

Aparte de la ya mencionada condición de poseer rasgos propios del entorno urbano, el edificio proporcionaba una gran fuente de datos para abordar la problemática acústica en recintos con funciones específicas.

El ala occidental de la edificación reúne una cantidad representativa de aulas, cuyas caras exteriores están orientadas sobre una vía de gran tránsito en la ciudad, la carrera segunda, lo que genera altos niveles de ruido dentro de los recintos ya que estos sitios no se encuentran acondicionados acústicamente para evitar la incidencia de esta problemática. Este factor indicaba que escoger un aula en esa posición nos daría un

escenario propicio para caracterizar toda la problemática global acordada en la finalidad del proyecto.

El salón 303 del edificio de Ingeniería Civil fue el escogido para representar dicha problemática, pues cumplía con todos los requerimientos, los cuales se relacionan a continuación:

- Uso de materiales convencionales de la región.
- Comportamiento acústico demasiado inapropiado para los usos requeridos.
- Nivel operativo acústico supuesto extremo (exposición extrema a niveles de ruido altos).
- Disponibilidad de espacio y tiempo para realizar las pruebas.

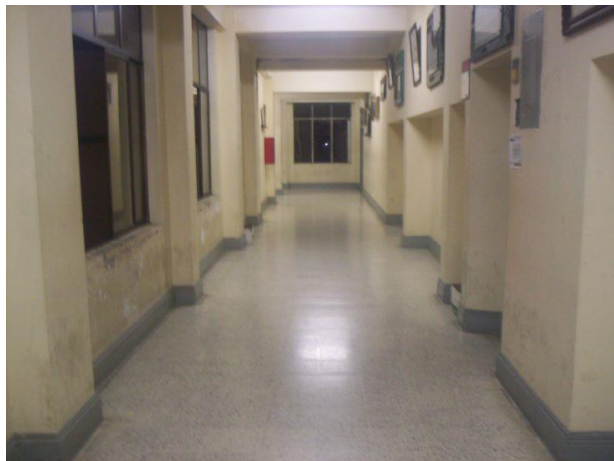
2.1.2 Descripción general y particular del aula. Observación global y unitaria

El salón escogido para realizar la fase experimental del proyecto posee una ubicación longitudinal geográfica en sentido norte-sur con vista al exterior del edificio en su flanco occidental y el flanco oriental colinda con el pasillo de tránsito peatonal que comunica con los otros salones y con la terraza, además tiene vista al parqueadero principal del edificio a través de una serie de ventanas que forman parte del muro exterior.

El área de trabajo escogida del sitio incluía el salón en su totalidad interna y la porción del pasillo que se extiende en su longitud, sin incluir la terraza. Para realizar un trabajo lo más completo posible era necesario conocer la composición constructiva del sitio y sus dimensiones, por lo cual se realizó la correspondiente extracción de información.

El pasillo posee un ancho (distancia más corta) de aproximadamente 2,60 mts, medidos entre el muro divisorio del aula en su parte inferior y el muro exterior. La parte exterior del muro divisorio del salón, que mira hacia el pasillo no es continua ya que su

superficie se ve interrumpida longitudinalmente por las columnas estructurales y en la dirección perpendicular hacia arriba por una salida en su parte posterior con acercamiento hacia el pasillo y continúa hasta el techo. Esta peculiaridad morfológica define claramente dos áreas rectangulares de igual tamaño ($h=1,97$ mts. y $L=3,13$ mts) y dos más pequeñas interrumpidas por el espacio de la puerta de ingreso al aula.



Fotografía Detalle del pasillo de tránsito exterior al salón. El muro que se observa a la derecha corresponde al muro divisorio del salón y frente a este el muro exterior con vista al parqueadero. La dirección de visión de la imagen ubica la ventana frontal en el costado sur del edificio.



Fotografía 2 Detalle interior y exterior del muro divisorio entre el salón y el pasillo. Nótese la concavidad que se forma en la parte superior (vista interior- fotografía de la derecha) y en la parte inferior (vista exterior – fotografía de la izquierda).

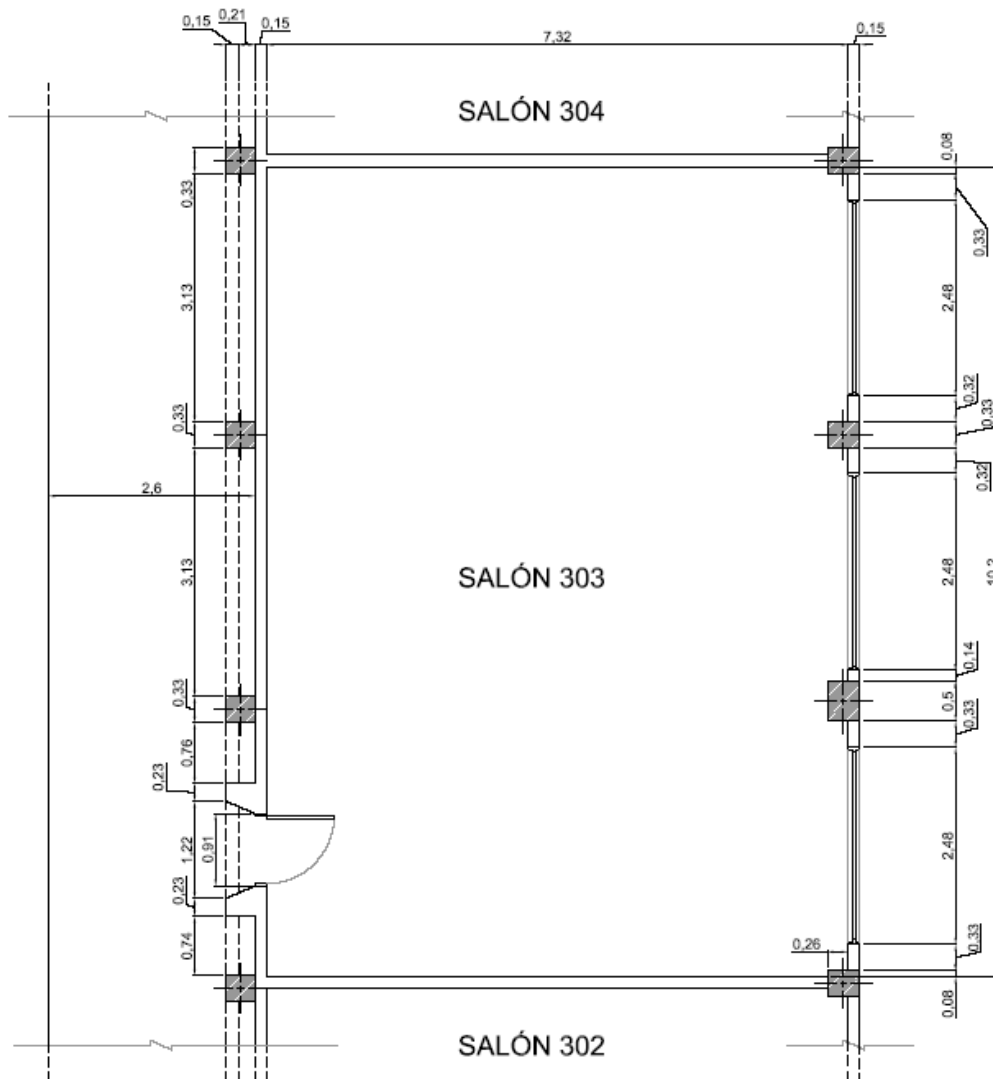


Figura 2 Plano general del salón estudiado, con sus respectivas especificaciones constructivas expresadas en metros. El flanco norte limita con el salón 302, y el oriental con el pasillo de aproximadamente 2,60 mts de ancho..

Las medidas específicas de todo el conjunto divisorio se referencian en la figura 2. La parte correspondiente al muro exterior con vista al parqueadero esta compuesta por ventanas de igual tamaño y una puerta de entrada a la terraza (estas medidas no son de interés para el trabajo).

El salón tiene un área interior rectangular de aproximadamente 75,30 m² (longitud= 10,32 y ancho= 7,32 mts). El flanco occidental presenta una disposición similar a la del muro divisorio del pasillo en materia estructural, con dos columnas que definen espacios internos utilizados para ventanas.



Fotografía 3 Detalles de los cuatro flancos del salón. Flancos occidental y oriental –arriba izquierda y derecha: muro con vista al exterior del edificio (calle) y muro divisorio del pasillo; flanco norte y sur- abajo izquierda y derecha: muro con tablero acrílico y muro anterior que colinda con otro salón.

Los flancos posterior y anterior (norte y sur) disponen de la misma área superficial, pero en el posterior se encuentra sujeto a la pared un tablero acrílico a una altura desde el suelo de 0,84 mts, con medidas de 4,85 x 1,20 mts. Ambos dividen el espacio para conformar los salones 302 y 304 respectivamente. La conformación constructiva general de todos los muros, como se dijo anteriormente, es la usual, con ladrillo común dispuesto en soga, terminación en revoque y pintura clásica, de aproximadamente 15 cms de espesor; en cuanto a los elementos estructurales, columnas y vigas en concreto reforzado, el primero de ellos con la misma terminación exterior que los muros, mientras que de los segundos elementos, uno atraviesa longitudinalmente este flanco dividiendo el área de las ventanas y los otros se encuentran “escondidos” sobre la pared y el cielo raso.

Los detalles de terminado del recinto son básicamente los de uso común. El guardaescobas es en mortero con definición arquitectónica propia, el piso en baldosa de cemento de 0,20 x 0,20 de diferentes colores y los marcos de las ventanas interiores son en aluminio rústico pintado, definiendo tres divisiones verticales y dos horizontales (debido a la vigueta), con formas de persiana en las partes verticales extremas y vidrio completo en la parte interior y siguiendo el mismo esquema en las dos partes horizontales tal y como se especifica en el esquema de la figura



Fotografía 4 Detalle de las ventanas (vista al exterior del edificio) – derecha y del acabado del piso con el guardaescobas – centro y puerta de ingreso al salón – izquierda.

La puerta esta construida en madera, pintada de color gris, con una altura de 2,14 mts y un ancho de 0,89 mts, de espesor aproximado de 12 cms, con un marco en el mismo material de muy pocos centímetros de grosor.

El techo corresponde a un cielo raso colgado sobre el elemento de cubierta y constituido por unidades modulares de materiales como cartón e icopor, ubicadas en sus correspondientes espacios. En total hay aproximadamente 100 espacios con sus respectivos paneles, algunos de ellos cediendo su lugar a las luminarias del recinto. Cada panel posee dimensiones de 1,20 x 0,57 mts, aunque existen en los bordes otros mas pequeños.



Fotografía 5 Detalle del cielo raso – derecha y del mobiliario silla y mesa tipo – izquierda.

El mobiliario del salón lo constituyen sillas y mesas de distintas dimensiones manufacturadas en madera, además de 3 cortinas en material de uso común, de peso liviano, de área más grande que las ventanas (aproximadamente de 6,5 m²). Cabe anotar que todo el mobiliario, tanto los acabados como los elementos constructivos en general se encuentran en un estado deplorable, en forma y composición, lo que origina discontinuidades en sus piezas y el incumplimiento de las funciones para las que fueron diseñados o construidos⁷.

Para un mejor entendimiento del sitio de pruebas fue necesario realizar un plano aproximado en planta del área global y algunos esquemas de interés particular.

⁷ En este sentido podemos citar algunos ejemplos: las ventanas de vidrio en persianas carecen de algunas de sus piezas, las cortinas presentan alto desgaste, suciedad y algunos imperfectos en su forma, el mobiliario exhibe un uso extremo por el deterioro de su material, lo mismo que la puerta, las piezas modulares del cieloraso se encuentran altamente influenciadas por la humedad y algunos espacios carecen de la unidad modular.

2.2 Acercamiento metodológico

Una vez explicado el contexto espacial de la experimentación es necesario referirse a la metodología utilizada en la misma⁸. EL objetivo directo, que consistía en hallar las dos características acústicas anteriormente citadas, exigía constar de un equipo mínimo para la aplicación del método no convencional. Inicialmente el estudio de la norma internacional ASTM E 90 como parte del primer objetivo inicialmente propuesto en el anteproyecto nos brindó las directrices iniciales para empezar a laborar.

En el punto de partida práctico de la investigación se poseía un compendio informativo del quehacer sonoro facturado teóricamente, por lo cual el desarrollo a este nivel sería fácilmente indicado. Ahora, establecer unas pautas para determinar la metodología a seguir implicaba estudiar el espacio de acción; después de definir las características morfológicas y compositivas del sitio claramente, se desplegó esta labor.

El estudio práctico se ordenó de la siguiente forma antes de iniciar su establecimiento:

- Elegir un flanco del salón (muro divisorio) para su estudio particular y global.
- Exponer el flanco elegido del aula a un tipo de ruido simulado artificialmente mediante un generador y un dispositivo de salida real (parlante).
- Medir los niveles sonoros antes y después del muro. Este procedimiento se llevara a cabo en tres fases o etapas:
 - a. Primera Etapa: Verificar la variación espacial del Campo sonoro en la superficie del muro.
 - b. Segunda etapa: encontrar la pérdida por transmisión sonora de la pared.
 - c. Tercera Etapa: encontrar la reducción del ruido global aportada por el elemento al salón como parte de una análisis sonoro interno.

⁸ Este numeral hace referencia a un acercamiento en el sentido en que en el desarrollo de cada fase experimental del proyecto se despliega en forma específica toda la metodología que cada una de ellas requirió.

- Medir el ruido de fondo del aula para los anteriores sistemas.
- Encontrar la pérdida por transmisión sonora teórica y la reducción del ruido con base en experiencias anteriores referidas a normas y con base en postulados teóricos del sonido.
- Comparar los resultados obtenidos por el método propuesto con los encontrados teóricamente y razonar en función de la efectividad lograda.

2.3 Instrumentación. Relación de dispositivos de medición – elementos – metodología.

Para lograr realizar el proceso metodológico propuesto fue necesario conseguir el equipamiento apto que se disponía en el alma mater. En primera instancia se necesitaba un equipo generador de sonidos en el cual se controlaran las frecuencias de los sonidos generados; además de este era necesario amplificar en potencia los sonidos generados y difundirlos por medio de un sistema de parlantes; en cuanto a la recolección de datos la importancia máxima del trabajo requería medir las presiones sonoras de los sonidos generados para lo cual se consideró necesario disponer de un sonómetro.

Todo el equipamiento se consiguió por medio de la universidad y gracias a la colaboración del Instituto de posgrados de Ingeniería civil, la Facultad de Ingeniería Electrónica, la Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y de la Educación, departamento de Física, y la Facultad de Ingeniería civil.

El equipo utilizado se referencia a continuación en una tabla que relaciona sus características mas importantes.

Equipo	Características
Generador – <i>Generador de Frecuencias</i>	Equipo que genera sonidos en distintas frecuencias (rango de 1 Hz a 15000 Hz), con modulaciones para caracterizar la onda generada.

Emisor – <i>Amplificador con consola y parlantes incluidos</i>	Equipo amplificador cuya función es aumentar la potencia del sonido transmitido por el generador y difundirlo por medio de un sistema de parlantes. El equipo incluye consola multicanal y manejo manual de salida de potencia en estereo para todos los canales.
Medición - <i>Sonómetro</i>	Equipo de medición de niveles sonoros con sistema de ponderación A y C para distintas modalidades de intervalos de medida y aplicación en los modos de medición <i>slow</i> y <i>fast</i> ⁹ .

La forma como se utilizaría el equipo se muestra en el esquema de la siguiente página.

⁹ Los modos de medición *slow* y *fast* se refieren a la velocidad de medida del sonómetro; para ondas de corta duración se utiliza *fast*, y para sonidos con duración larga y permanente se utiliza el modo *slow*. En nuestra práctica se generarían sonidos de larga permanencia y constantes en frecuencia, por lo cual se utilizaría el sonómetro en su modalidad *slow*.



Equipo generador



Equipo amplificador –
fuente sonora

Onda sonora



Equipo medidor -
Sonómetro

Muro de pruebas



Figura 3 Esquema de la metodología práctica del proceso experimental.

3. PERDIDA POR TRANSMISION SONORA Y REDUCCION DEL RUIDO. ANALISIS DE CASO ESPECÍFICO

3.1 Fase De Prueba

El primer paso de la fase de prueba consistió en un acercamiento al conocimiento y manejo práctico del equipo a utilizar, así como la identificación de las principales características físicas y geométricas del sitio escogido para la realización de las pruebas.

En este primer acercamiento se realizaron labores aleatorias y se encontraron las primeras huellas del comportamiento sonoro en el espacio descrito, a partir de las características ofrecidas por el equipo de trabajo.

Durante la sesión, con el propósito de hacer uso de las variables implicadas en el(los) procedimiento(s) se probaron distintos acoples del equipo emisor de la fuente, a diferentes distancias y generando distintas frecuencias, comprobando en esta fase el buen funcionamiento de los instrumentos de medida y de emisión, determinando los puntos teóricos de medidas, las posiciones de los equipos y en general, la forma como se llevarían a cabo los procedimientos durante toda la práctica, dejando en claro que algunos puntos técnicos y de criterio dependerían de las fases precedentes.

Con lo anteriormente dispuesto se elaboro un plan de trabajo y se programaron las subsecuentes sesiones de esta fase. Entre los parámetros que se tuvieron en cuenta figuraban los siguientes:

- Las pruebas debían realizarse en las horas en las que el personal estudiantil y de trabajo no entorpeciese sus tareas programadas y a su vez que estas prácticas no alteraran la programación académica ordinaria.

- Otro factor importante que se debía tener en cuenta era la presencia de altos ruidos externos a la fuente, que incidían en la perturbación de los campos sonoros que se pretendían generar¹⁰.

- Efectos externos del ambiente tales como: temperatura, humedad y presión se tuvieron muy en cuenta. Sin embargo en las argumentaciones teóricas se estableció, que dichos factores en el sitio de prácticas no establecían una gran representatividad que fuese a interferir en la variación de los resultados¹¹.

-Además, los factores de disponibilidad del sitio y de los equipos, situación que fue fácilmente solucionadas gracias a la cooperación de los distintos entes administrativos y académicos de las Facultades de Ingeniería Civil e Ingeniería Electrónica.

Teniendo en cuenta las razones anteriormente descritas se optó por realizar los ensayos a partir de las 8:00 de la noche, después de finalizada la última jornada, contando con plena disponibilidad del sitio, de los equipos y sin interferencias en las actividades académicas y en el procedimiento.

Con las condiciones dispuestas se preparo la segunda sesión, la cual tuvo como objetivo encontrar la variación espacial del campo sonoro formado cerca de la superficie del muro¹², con mediciones específicas planteadas a partir de las condiciones y del

¹⁰ Con el ánimo de no generar una posible dicotomía en las formas como se asume la definición de “ruido de fondo” en las diferentes etapas de el presente trabajo resulta procedente la siguiente aclaración: en la parte práctica se toma el “ruido de fondo” como todo ruido externo a las ondas generadas y presente en el recinto durante el proceso, mientras que en el marco teórico se asume una definición de este concepto como “el nivel de ruido presente en un recinto”, definición que se retoma en el análisis de resultados para caracterizar algunos elementos, por lo tanto el nivel del “ruido de fondo” en este contexto correspondería a la suma de todos los niveles sonoros presentes en el lugar, incluso la onda sonora generada en la práctica cuando así se requiera. De esta forma se determinan estas dos acepciones del término ruido de fondo dependiendo del contexto en el que se sitúe.

¹¹ “En general, la respuesta en frecuencia y la sensibilidad de los micrófonos de medición no se modifican significativamente debido a los cambios de temperatura que se producen en interiores” (Harris, 1995 V1 9.15) .

¹² Se utiliza la palabra *cerca* debido a que resulta casi imposible medir la presión sonora sobre la superficie del muro por la geometría del mismo, por la utilización de un sonómetro de las características del usado (ver equipo utilizado) y porque el equipo generador de sonido se encontraba radiando a una distancia ortogonal de 2 mts. con respecto a la partición.

funcionamiento previamente reconocido y estudiado en la anterior sesión de pruebas, lo que nos daría pie para caracterizar debidamente el campo sonoro emitido y generado y para entender el comportamiento del mismo en el espacio delimitado por las ondas sonoras y la superficie en cuestión.

Se empezó por establecer las frecuencias específicas de prueba y se determinó que lo más conveniente era utilizar una frecuencia básica de cada rango de alturas del sonido. La frecuencia básica para mediciones acústicas es la de 1000 Hz y es esta la que delimita, en función de la sonoridad, los sonidos altos y bajos, de modo que se tomó una frecuencia base de 250 Hz perteneciente a los sonidos bajos y otra de 2000 Hz perteneciente a los sonidos altos.

Después de definir las frecuencias de prueba, se decidió determinar exactamente el sitio que sería influenciado por las ondas sonoras y los puntos de medición en la superficie de este sitio, la ubicación espacial de la fuente y la forma como se sometería la pared a los rayos sonoros. Se resolvió usar solo un parlante del par que conforman el equipo amplificador, ya que los controles de salida de potencia de este eran manuales y resultaba complejo lograr equiparar las cargas de potencia en los dos parlantes, en función del nivel sonoro justo en la salida frontal de los parlantes.

El análisis, de las condiciones geométricas del lugar y el recurso físico con que se contaba, exigía solo exponer al sonido una porción de la parte externa de la pared total del salón demarcada entre dos columnas interiores del edificio. En esta sección del muro se ubicaron diez (10) puntos de medida espaciados longitudinalmente entre 0,80 y 1,00 mts cada uno, a unas alturas de 1,20 y 1,70 mts¹³ (ver tabla 2). Cada punto de medida se tomaría como representativo de un área supuesta hipotética a partir de las posibles características sonoras presupuestadas en la superficie de la pared, es decir, se presupone el hecho de que dicho punto reflejaría el nivel sonoro de un área en

¹³ Harris (1995) recomienda usar estos datos, ya que equivalen a las alturas del órgano del oído para una persona de altura promedio de pie y sentada.

particular (ver tabla 2 y figura 3) . Estas medidas servirían como referencia espacial para la segunda fase del proyecto.

La ubicación espacial de la fuente se determinó con el objeto de lograr un máximo aprovechamiento respecto de sus características físico-sonoras y tratar de simular los principales focos de ruido posibles que se presentarían en el lugar, para inquirir en algunos efectos sonoros que posteriormente serían útiles en las fases siguientes. Como se trata de un corredor de tránsito peatonal, el principal foco de ruido corresponde al habla de los que por allí transitan o permanecen, de modo que se ubicó la fuente a dos (2,00) metros de la superficie del muro, que es una distancia representativa por donde transita la mayoría de la gente y que a su vez se encuentra cerca de la pared opuesta, lugar donde permanecen gran parte de las personas mientras se ubican en el corredor.

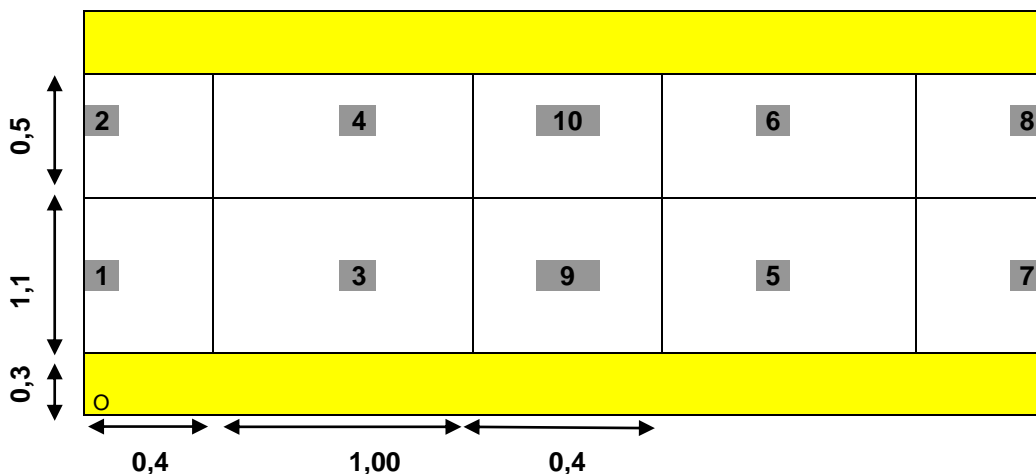


Figura 4 Delimitación de las áreas hipotéticas isobáricas sonoras. Representación no escalar. La franja de color amarillo indica el área marginal de la pared en que los valores medidos no resultarían característicos de la misma. El punto inferior izquierdo se considera el origen del plano descrito por la superficie de la pared

La altura de la fuente que se escogió equivale a la altura promedio del órgano del habla de una persona, 1,70 mts., midiéndola con respecto a un punto medio de la longitud mas larga del parlante del amplificador.

Coordenadas	1	2	3	4	5
X	0,10	0,10	1,10	1,10	2,00
Y	1,30	1,70	1,30	1,70	1,30
Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	7	8	9	10
X	2,00	3,00	3,00	1,55	1,55
Y	1,70	1,30	1,70	1,30	1,70
Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 2 Coordenadas de los puntos de medida, con respecto a un origen ubicado en la esquina inferior izquierda de la superficie de la pared (Ver figura anterior).

Ordenado este sistema de pruebas, se procede a emitir los sonidos especificados. El procedimiento básico se establece a continuación:

-Primero se comprueba el funcionamiento de la totalidad del equipo.

-Se acondiciona el generador de frecuencias para que origine la frecuencia indicada. La primera frecuencia de prueba es de 250 Hz.

-Se ajusta el sonómetro en las funciones requeridas. Para nuestro caso utilizamos el nivel de ponderación A, toma de datos en su función slow (lenta) y el intervalo de medida se ajusta en 80-130 dB, que corresponde al de mayor exactitud.

-Se mide el ruido de fondo en el pasillo o sitio de prueba.

-Se ajusta el amplificador de forma tal que el sonido generado logre enmascarar¹⁴ al ruido de fondo. Para tales efectos se recomienda que el nivel sonoro emitido en la fuente y el nivel sonoro en el lugar de medidas este alrededor de 10 dB por encima del Ruido

¹⁴ Harris define enmascaramiento:”(1) El proceso mediante el cual se eleva el umbral de audición para un sonido mediante la presencia de otro. (2) La cantidad en que se aumenta el umbral de audición de un sonido en presencia de otro sonido” (1995 V1, 2,7).

de fondo¹⁵.

-Se miden los niveles sonoros en la fuente y en el muro o pared tomando las medidas del caso para que los resultados logren ser lo mas confiables posible y se realizan las anotaciones correspondientes.

-Se repite el procedimiento de ajuste, generación, emisión y medición o toma de datos para las frecuencias de 1000 y 2000 Hz.

Consignados todos los datos en los formatos preestablecidos con anterioridad se realizaron los análisis del caso.

f (Hz.)	1a	1	2	3	4	5
250	98,60	79,50	75,80	83,00	80,50	79,60
1000	112,00	100,00	94,00	86,00	86,00	86,00
2000	110,00	95,00	97,80	86,00	92,60	86,00
		6	7	8	9	10
250		79,80	77,90	82,30	78,50	86,50
1000		91,00	102,60	89,10	94,60	99,50
2000		86,20	89,60	93,50	90,10	93,00

Tabla 3 Datos de los Niveles sonoros en la salida de la fuente y en la pared del salón. Recogida en la primera fase de la experimentación. Los valores consignados en la columna 1ª corresponden a los niveles sonoros en la salida de la fuente, mientras que las columnas del 1 al 10 corresponden a los puntos elegidos cerca del muro (Véase referencias anteriores).

Los resultados obtenidos en esta fase permitieron establecer ciertos lineamientos de trabajo para las fases de experimentación subsiguientes. El estudio de estos resultados parte de una suposición teórica o postulado inicial que indica que sobre la pared todos los puntos debían tener los mismos niveles sonoros, o por lo menos tener una variación

¹⁵ La finalidad de esta sugerencia es lograr que las medidas por si solas resulten lo mas confiables posibles, sin embargo si la diferencia del nivel sonoro medido y el ruido de fondo esta por debajo de los 10 dB se pueden realizar correcciones conveniente, sin perder confiabilidad.

espacial pequeña, es decir que el frente de onda¹⁶ que “chocaba” con el muro se repartía sobre el en toda la extensión de contacto con el mismo nivel de presión sonora.

Como la pared se considera “totalmente plana” en cuestiones acústicas, y el frente de onda no lo es por las características de emisión de la fuente¹⁷, el propósito consistió en determinar cuan variable resultaba espacialmente el nivel sonoro a distintas frecuencias por las características geométricas disímiles entre el frente de onda y la pared y por la incidencia de ondas estacionarias¹⁸ generadas por la morfología y la constitución física del sitio de pruebas, en otras palabras, comprobar que el postulado del que partimos era cierto.

Este postulado resultaba cierto si se lograba influenciar la zona de mediciones con un campo sonoro directo proveniente únicamente desde la fuente. Inicialmente se conocía que en la practica esto resultaba imposible de generar puesto que el sitio de pruebas corresponde a lo que se conoce acústicamente como local cerrado, lo que genera efectos de reverberación, alterando las medidas reales del campo directo; sin embargo, se trató de generar un campo lo mas directo posible, logrando altos niveles de presión sonora de la fuente que atenuaran o enmascararan el ruido de fondo como se explicó anteriormente y despreciando los efectos de reverberación, situación que mas adelante resulto ser muy representativa en la variación espacial de los niveles sonoros.

Se registró un nivel general de salida del parlante ubicando el sonómetro ortogonalmente al punto central geométrico del parlante, a una distancia aproximada de entre 3 y 5 cms. Y los puntos medidos en la pared se registraron aproximadamente a una distancia entre 15 y 20 cms. de la superficie, por las razones anteriormente expuestas. En todos los casos la dirección del sonómetro buscaba generar una línea recta entre el eje central de este y el centro supuesto del parlante. Las medidas arrojadas por el

¹⁶ El frente de onda referido, es aquella superficie o área “teórica” de una onda sonora generada por líneas de sonido con el mismo nivel sonoro e igual fase.

¹⁷ La fuente en consideración emana sonidos que describen formas curvas, no rectas, en la dirección frontal del mismo.

¹⁸ “Onda estacionaria: Ondas periódicas con una distribución fija de amplitud en el espacio, que resultan de la interferencia de ondas progresivas de la misma frecuencia y tipo” (2.17).

sonómetro, presentaban en la mayoría de los casos gran variabilidad temporal en pequeños intervalos para un mismo punto espacial, por lo que se decidió que en cada punto en particular se consignaría el valor en el cual se lograra estabilizar el sonómetro, o en su defecto el valor medio de un rango de valores donde variaban las medidas vistas en el, sin que este fuese mayor de 6 dB.

Los resultados obtenidos, que son mostrados en la Tabla , nos acercan a los supuestos iniciales que se trabajaron. Primero, realizando un razonamiento somero y sumamente general, se aprecia instantáneamente que los valores presentan fluctuaciones, es decir que no resulta homogéneo el campo sonoro en la superficie *cerca* de la pared.

Sin embargo estos datos se pueden analizar de diversas formas. Un primer análisis, que aunque resulta global, intenta inducirnos a la situación comportamental de las ondas en el recinto estudiado, nos indica que existieron tres situaciones bien definidas, cada una de ellas en la frecuencia específica utilizada. En el caso de los 250 Hz. se nota claramente que la variación de resultados es poca, y nos da un indicio de la estabilidad de una onda con esta frecuencia en el recinto.

Al realizar la estimación y calculo de la media aritmética y la desviación estándar (ver tabla 4) y determinar el índice de confiabilidad o estimativo de error a partir de la figura 4 (Harris, V1 1995, 9.11), en función de la cantidad de datos, nos damos cuenta que estableciendo unos límites inferior y superior, por debajo y encima de la media, determinados por la adición o sustracción a este valor del índice de confiabilidad, solo dos valores se encuentran fuera de este rango para la primera frecuencia medida representativa de la zona de sonidos bajos.

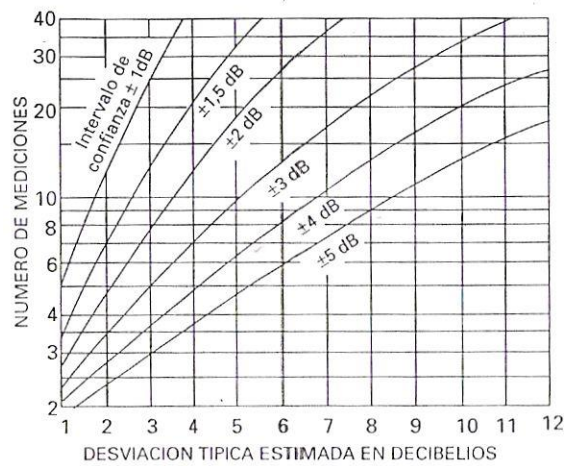


Figura 5 Numero de mediciones con respecto a la desviación típica. Esta gráfica indica el numero de mediciones necesarias para determinar una media o viceversa, dentro de distintos intervalos con un 90 por cien de confianza. (Tomado de Harris, V1 1995).

F (Hz.)	1a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250	98,60	79,50	75,80	83,00	80,50	79,60	79,80	77,90	82,30	78,50	86,50
1000	112,00	100,00	94,00	86,00	86,00	86,00	91,00	102,60	89,10	94,60	99,50
2000	110,00	95,00	97,80	86,00	92,60	86,00	86,20	89,60	93,50	90,10	93,00

f (Hz)	M.A.	D.E.	I.C.
250	80,34	2,9886	2
1000	92,88	6,2631	4
2000	90,98	4,0941	3

Tabla 4 Valores correspondientes a los niveles sonoros en la salida y en el muro y sus respectivas media aritmética (M.A.), desviación estándar (D.E.), e índice de confiabilidad (I.C.) estimadas en cada frecuencia. Los valores en las celdas resaltadas indican aquellos que se encuentran por fuera del rango establecido.

Se determinó este rango debido a que el índice de confiabilidad nos ofrece el valor en decibeles en que podría estar errada la media aritmética, la cual supondría el nivel sonoro representativo en la pared para una frecuencia en particular. Por ejemplo, según los datos tomados, para la frecuencia de 250 Hz, con un nivel de salida en la fuente de

98,60 dB, se tendría un nivel sonoro medio en la pared de 80,34 dB, con un error de +/- 2 dB, y según los límites establecidos solo dos valores, en el 3er y el 10mo punto, se encontrarían lo suficientemente alejados del valor medio, sin embargo, la diferencia no resultaría excesiva¹⁹ (véase en tablas 4 y 5), a razón de los grados de confiabilidad que nos ofrece valores entre 90 y 100% para el número de medidas tomadas, pero que se reduce un poco por la acción de incertidumbre proporcionada por los elementos de trabajo utilizados²⁰.

Para las medidas en la frecuencia de banda de octava de 1000 Hz. se encontraron resultados insatisfactorios en lo concerniente a la homogeneidad del campo sonoro, pero que a su vez, representan de forma muy clara algunos lineamientos teóricos. Se notó que los valores más alejados correspondían a puntos en las esquinas, lugares donde comúnmente se presentan ondas estacionarias y/o reflectivas y que las áreas con grupos de valores más homogéneos correspondían a lugares centrales en la superficie del muro, aunque estos se encontraban muy por debajo del nivel sonoro de salida de la fuente, lo que probablemente indicaría que existían reflexiones que lograban atenuar el nivel sonoro de la fuente, pero mantener ese valor atenuado constante. La diferencia entre el máximo y el mínimo nivel medido fue de 16,60 dB.

f (Hz.)	L.I.	L.S.
250	78,34	82,34
1000	88,88	96,88
2000	90,98	93,98

Tabla 5 Límites del rango de valores de los niveles sonoros para cada frecuencia medida, establecidos a partir la media aritmética y el nivel de confiabilidad.

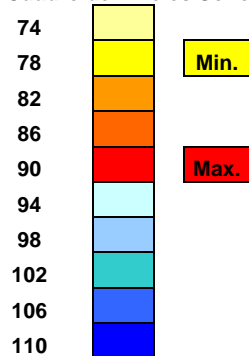
¹⁹ La característica “excesiva” podría tomar diferentes matices en una investigación del sonido, pero la acepción que aquí se le da, la brinda los estudios e investigaciones recopiladas en el libro de Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido V1 y V2 de Cyril M.Harris, seguido en toda la labor investigativa, y también la “confiabilidad” que nos ofrecen los equipos utilizados. Por lo tanto hablar en esta fase de prueba de intervalos de confianza de 5 a 10 dB no resulta excesivo, dadas las características no convencionales del muestreo, puesto que no se rigen específicamente por ninguna norma, sin embargo se trató de acondicionar al máximo las condiciones del muestreo para tener grados satisfactorios de confiabilidad, por lo menos mayores al 60%.

²⁰ Aunque existen correcciones a los niveles medidos por diferentes factores, entre ellos el manejo y la disposición de los equipos, en esta fase se decidió mantener los valores iniciales sin corrección, puesto que se quería observar la influencia del sitio y del equipo en la variación espacial.

En la frecuencia de banda de octava de 2000 Hz la máxima diferencia encontrada entre el máximo y el mínimo fue de 11,80 dB, mas baja que para la frecuencia de 1000 y mucho más alta que para la de 250 Hz. Al igual que en la frecuencia de 1000 Hz, también existe una cantidad representativa de valores por fuera del rango establecido (50 %). Para estudiar de una forma más clara estos resultados se decidió realizar mapas sonoros de la pared (ver figura 5)



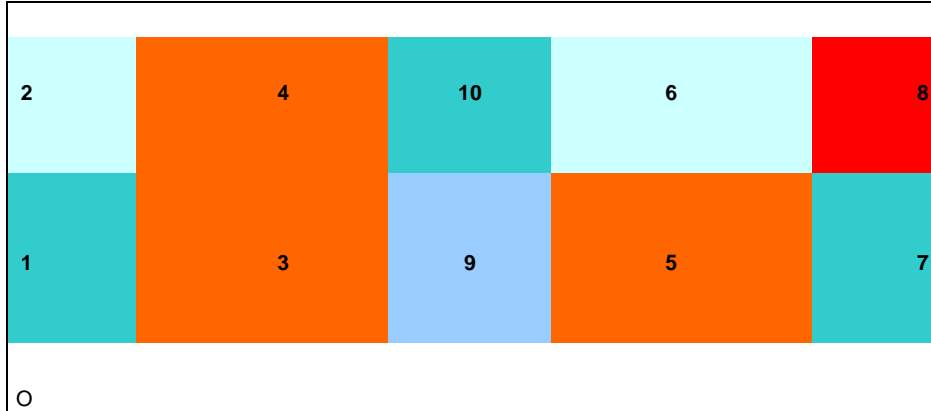
Cuadro de Niveles Sonoros



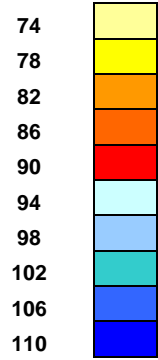
Niveles Sonoros en la Salida

Nivel Sonoro de Salida : 98,6
Ruido de Fondo: 64,6

Niveles sonoros en el Muro
f: 1000
Hz.



Cuadro de Niveles Sonoros



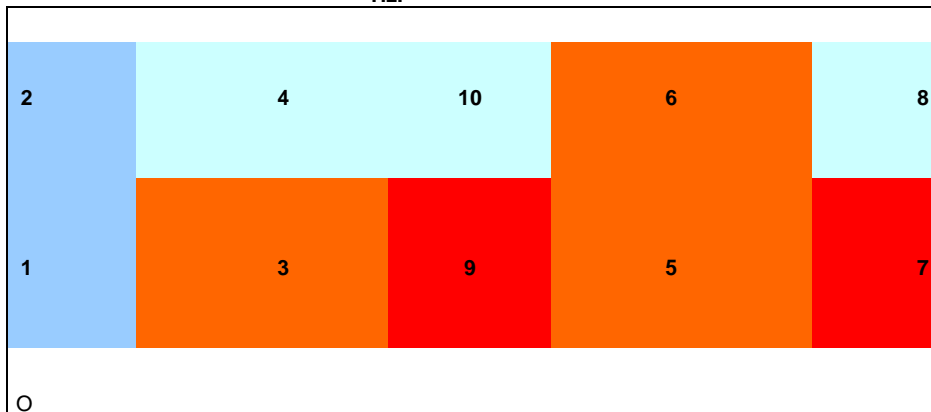
Niveles Sonoros en la Salida

Nivel Sonoro de Salida : 112,00
Ruido de Fondo: 64,6

Min.

Max.

Niveles sonoros en el Muro
f: 2000
Hz.



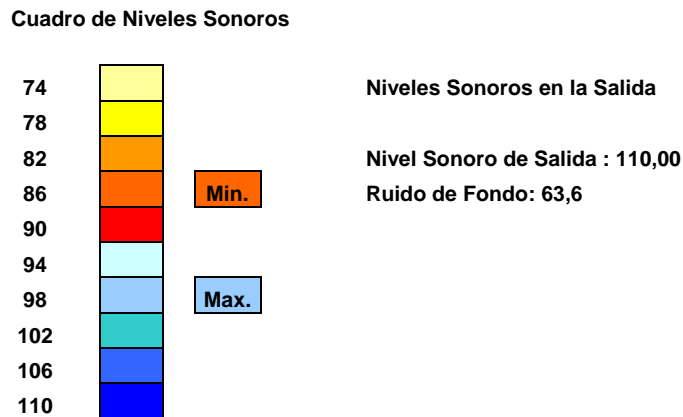


Figura 5 Mapas sonoros del muro. Cada punto corresponde al sitio hipotético donde se tomo la medida y el color delimita el área con rango de sonido especificado en las convenciones.

Desglosando la información de los mapas se encontró una característica recurrente en las tres frecuencias, la diferencia de niveles sonoros entre puntos ubicados consecutivamente de dirección vertical era muy pequeña. Ante esta situación se optó por un segundo análisis.

Este análisis secundario estableció relaciones entre los puntos consecutivos verticales y horizontales. Se encontraron las mayores diferencias, en decibeles, para cada conjunto de medidas verticales y para las medidas horizontales se hallaron las correspondientes media aritmética, desviación estándar, índice de confiabilidad y límites superior e inferior del rango delimitado por la suma y la diferencia del índice de confiabilidad a la media aritmética, agrupados en cada frecuencia específica.

El panorama observado ofrece importantes aspectos del comportamiento del rayo emisor en el sitio. Primero, se advierte claramente que las diferencias verticales entre las diferentes parejas de datos, son muy pequeñas (menos de 6 dB), excepto en las parejas con la máxima diferencia por frecuencia.

	1 y 2	3y4	9y10	5y6	7y8
250	75,80	80,50	86,50	79,80	82,30
	79,50	83,00	78,50	79,60	77,90
Dif.	3,70	2,50	8,00	0,20	4,40

M.A.	D.E.	I.C.	L.I.	L.S.
80,98	3,8945	4	76,98	84,98
79,70	1,9761	2	77,70	81,70

1000	100,00	86,00	99,50	86,00	102,60
		94,00	86,00	94,60	91,00
Dif.	6,00	0,00	4,90	5,00	13,50

94,82	8,1371	5	89,82	99,82
90,94	3,555	4	86,94	94,94

2000	95,00	86,00	90,10	86,00	89,60
		97,80	92,60	93,00	86,20
Dif.	2,80	6,60	2,90	0,20	3,90

89,34	3,7078	4	85,34	93,34
92,62	4,1523	4	88,62	96,62

Tabla 6 Análisis particular de parejas verticales de puntos en la pared con sus respectivos cálculos y estimaciones de media aritmética (M.A.), desviación estándar (D.E.), e índice de confiabilidad (I.C.). Los valores en verde corresponden a la máxima diferencia del nivel sonoro entre las parejas para una misma frecuencia.

Esto nos indica que muy seguramente existen patrones de comportamiento sonoro establecidos por áreas en la pared, determinados por las condiciones de la posición y características técnicas de la fuente emisora y de la geometría y composición del lugar. Se nota claramente que el frente de onda resulta más homogéneo en franjas en un mismo sentido, resaltando esta característica en el sentido vertical.

A partir de estos resultados se pueden establecer tres franjas verticales con comportamientos similares. La primera la constituye el área cercana a los bordes o límites verticales de la pared, que debido al sistema constructivo conforma una esquina con la columna estructural (ver fotografía 6). La segunda es la superficie consecutiva a la anterior, hacia el centro de la pared, en cada costado y la tercera, el área central, ortogonal a la salida de la fuente.

Aunque cada área presenta homogeneidad del nivel sonoro en su superficie, no conserva por lo observado hasta el momento, muchos patrones correlativos con las otras áreas o franjas, es decir los niveles sonoros en cada franja superficial seleccionada, en algunos casos, no guardan relación aritmética con los valores de otras franjas para una misma frecuencia de prueba, resultando por ejemplo, mayores en los costados que hacia el centro de la pared en ciertos casos e inverso en otras ocasiones.



Fotografía 6 Detalle constructivo de la esquina formada entre la pared y la columna en la parte exterior del salón.

Estos comportamientos nos permiten entonces ahondar un poco en la caracterización del equipo usado, principalmente de las características emisoras del parlante. Suponemos entonces que, a causa de la forma del mismo, este genera menores variaciones del nivel sonoro en el sentido vertical que en el horizontal, dicho en otras palabras, que el frente de onda que “choca” contra la pared no posee lados iguales, sino que tiene una forma muy parecida a la del parlante, con un lado mas largo que el otro, razón por la cual la homogeneidad sonora se aprecia mas en esa longitud.

Sumado al motivo anterior, podríamos hablar del efecto que sobre las ondas sonoras tienen las superficies del sitio de pruebas. Como corresponde a un corredor con paredes acabadas en estuco tradicional pintadas con un suelo en baldosa y gran cantidad de área

dispuesta para ventanas en vidrio que se mantuvieron cerradas durante la prueba, se produjo una gran cantidad de ondas reflectivas creando efectos de reverberación en el recinto. Estos efectos de reverberación causaron entonces atenuaciones o elevaciones de los niveles sonoros en algunos lugares específicos sobre la superficie de la pared.

Sin embargo se debe aclarar también que posiblemente existieron algunos errores en la toma de datos para la frecuencia de 1000 Hz ya que las diferencias de los niveles sonoros en esta frecuencia son demasiado altas obteniendo valores de desviación estándar muy grandes, que disminuyen ostensiblemente los niveles de confianza. Según la Figura 5 y según estas medidas las franjas verticales consecutivas presentan grandes diferencias.

Con las apreciaciones generadas a partir de los ensayos de esta primera fase se procedió a realizar los planteamientos para las fases siguientes del trabajo, quedando claro que era necesario efectuar ciertas correcciones a la forma con que se estaban llevando a cabo los ensayos para tratar de obtener resultados más confiables.

3.2 .Fase De Experimentación I

La efectividad acústica²¹ de un recinto depende de los materiales compositivos del mismo y de sus características geométricas y cada material aporta significativamente a ella de acuerdo con su representatividad en el recinto. Un aspecto importante en términos de efectividad acústica, resulta el aislamiento contra el ruido, sea este debido al sonido transmitido por el aire o el sonido transmitido a través de las estructuras (Ver Capítulo 1).

“Se puede definir como aislamiento acústico a ruido aéreo de una pared, la *pérdida de energía que experimentan las ondas sonoras al atravesar la pared*” (Recuero Lopez). Dentro del aislamiento contra el ruido, la pérdida de transmisión sonora resulta un factor preponderante, ya que ésta logra caracterizar acústicamente una simultaneidad de

²¹ La efectividad acústica esta expresada en los términos para los cuales haya sido diseñado.

materiales constructivos y constituye una pieza importante al momento de determinar los índices de aislamiento acústicos. Cada material de construcción tiene entonces una respuesta a los sonidos que inciden en él, la cual establecida en función de su composición y sus dimensiones determinan los valores de la pérdida por transmisión a partir de cada frecuencia incidente.

En el capítulo anterior se establecieron los parámetros indicativos de la forma constructiva predominante en la región y se especificaron las condiciones del sitio de pruebas, además se clarificó la condición de la pared radiada y sus cualidades generales e intrínsecas. Ahora surge un interrogante acerca del comportamiento interior de la pared cuando se expone a los campos sonoros. Anteriormente, en la fase de prueba encontramos las primeras luces de este comportamiento analizando lo ocurrido en el espacio delimitado entre la superficie de la pared y la fuente sonora, es decir la distribución sonora en las cercanías de la pared y los fenómenos que la demarcaban.

Para lograr comprender el comportamiento “interior” de la pared se parte de la morfología global del elemento y de los componentes que lo constituyen. Globalmente “Todos sabemos que las paredes utilizadas en la construcción son rígidas, es decir, están provistas de elasticidad...[, ahora, nuestra pared esta compuesta básicamente por tres materiales: el ladrillo, el mortero, y el estuco, que incluye la pintura; sin embargo estos componentes actúan como un todo, monolíticamente, de manera que sus partículas] se hallan unidas por ciertas fuerzas de ligadura, por lo que no es posible admitir que los movimientos de los diferentes puntos de una pared sean independientes entre sí (Arau, 1999, 123)”. Analizando lo anterior se supone entonces que la pared se “mueve” homogéneamente generando una vibración, cuyas propiedades se encuentran en función de las particularidades de las ondas sonoras incidentes.

A partir de algunos datos básicos propios se pueden establecer los valores correspondientes de estas características acústicas, sin embargo estos conceptos nacen gracias a los modelos matemáticos y consideraciones físicas irreales que no se dan en la práctica. La ley de masas, descrita en el marco teórico relaciona la pérdida por

transmisión como característica acústica con dichos elementos básicos, dependiendo de su masa unitaria, su rigidez y el amortiguamiento intrínseco en el material o en los bordes del panel, pero teóricamente la tendencia que genera la gráfica de la ley de masas para un elemento o material en particular disiente de lo que se presenta realmente.

La ley de masas predice que la pérdida por transmisión del sonido aumentará en 6dB por cada duplicación de la masa de la superficie o la frecuencia (Harris, V2 1995, 31.6), sin embargo, en la realidad se presenta una variación de la curva en el entorno de la llamada frecuencia crítica. Esta variación es una disminución del valor de pérdida por transmisión antes y después de dicha frecuencia.

Por lo tanto una manera eficaz de encontrar el “verdadero” valor de la pérdida por transmisión en función de la frecuencia consistiría en realizar algún ensayo propuesto en las normas que corresponden al campo sonoro y que regularizan las actividades en este escenario²². Internacionalmente existen varios institutos encargados de regular los procedimientos técnicos en la mayoría de los campos de trabajo y que promueven sus propias normas técnicas, entre las que figuran de manera principal la sociedad norteamericana para ensayos y materiales, ASTM por sus siglas en inglés, la Unión normativa española, UNE, las normas ISO, y en Colombia el Instituto colombiano de normas técnicas, ICONTEC.

En cuestiones de estudios sonoros la ASTM, la UNE y la ISO proveen gran cantidad de regulaciones e informaciones, en un compendio de normas reglamentarias de ensayos, índices y definiciones.

La ASTM regula en su apartado E 90 la forma “ideal” para determinar la pérdida por transmisión del sonido, creando un laboratorio apto para probar los materiales que se deseen ensayar. Esta norma exige un máximo de cuidado en la generación de las ondas

²² “Puesto que el comportamiento "in situ" de una instalación difiere ligeramente de los cálculos teóricos que se efectúan en un estudio analítico, no es suficiente conocer los materiales empleados sino que además es imprescindible conocer su modo de actuación en situación real” (www.acusticaintegral.com.es).

sonoras incidentes y en la creación de los ambientes propicios para el ensayo, “obligando” a crear un espacio físico muy específico para lograr niveles de confianza lo suficientemente altos que garanticen la efectividad de las pruebas.

Estos ensayos normalizados ya han sido realizados en diferentes partes del mundo, logrando calificar la mayoría de los materiales constructivos más usados, que a su vez son materiales de uso común en nuestro medio. Nos referimos a materiales como el ladrillo, el hormigón, la madera, usados en las barreras o muros divisorios, y a otros complementarios como el vidrio, telas o tejidos industriales, baldosa, azulejos, tejas, etc. y sus diferentes combinaciones.

Construir un escenario para realizar las pruebas acústicas ajustándose a los requerimientos impuestos en las normas internacionales constituía un emprestito de difícil desarrollo en este trabajo. Por tal razón se pensó realizar una tarea menos laboriosa y dispendiosa que tratara de simular las condiciones y los efectos tratados en la norma. Contando con los equipos y el sitio antes referenciados, el objetivo principal de esta fase consistió en hallar mediante un método no convencional²³ la pérdida por transmisión del sonido y comparar la veracidad y efectividad de los datos encontrados con su respectivo sustento teórico o normalizado y desarrollar las conclusiones del caso.

La norma ASTM E90 considera relevante para establecer la pérdida por transmisión, que el campo sonoro que incida sobre la pared sea un campo sonoro difuso, de manera que las presiones sobre la partición sean todas las mismas en nivel y en dirección. De esta forma se garantiza que cada parte diferencial de la masa del elemento de prueba sea afectada de la misma manera, logrando caracterizar la totalidad de la barrera a partir de su rigidez y homogeneidad.

Un detallado análisis de la teoría de las ondas sonoras aplicado al aislamiento acústico y concebido en la norma es realizado con base en las particularidades de la transmisión

²³ Se define no convencional debido a que no se ajusta a la norma que rige el procedimiento para determinar la(s) característica(s) acústica(s) que se requería(n).

entre dos recintos considerados como cámaras o habitaciones reverberantes y con ondas sonoras que crean campos difusos.

En la misma norma se hace referencia a que la pérdida de transmisión sonora esta en función del coeficiente de transmisión sonora, pero en el proceso práctico establecido en ella no se contempla directamente el término sino que se le referencia implícitamente en términos de la absorción y de la superficie del(los) material(es) compositivo(s) de la barrera actuando conjuntamente.

En términos generales para transmisión difusa²⁴ la teoría de ondas propone algunas ecuaciones particulares aceptadas por las consideraciones físicas que se evidencian al simular las condiciones mencionadas anteriormente. Para una frecuencia particular en banda de octavas o en tercio de bandas de octava se asume la pérdida por transmisión o aislamiento acústico específico²⁵ de una partición como:

$$TL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log S/A \quad (2.1)$$

Donde S = el área de la pared divisoria

A= las unidades de absorción o absorción total en la sala receptora, o habitación de recibo.

Los términos L_{p1} y L_{p2} valen la pena aclararlos totalmente. El primero de ellos se refiere al nivel de presión sonora medio o nivel sonoro medio en la habitación fuente y el segundo corresponde al nivel sonoro medio en la habitación de recibo. Ambos niveles son el resultado de cálculos a partir de un numero de mediciones en determinados puntos establecidos en la norma, la cual fija ecuaciones o relaciones específicas para su

²⁴ Término aceptado en este trabajo para referirse a la transmisión entre dos habitaciones reverberantes, donde una de ellas es la habitación fuente y la otra la habitación de recibo, tal como lo indica la norma ASTM E 90.

²⁵ Según el autor y la región se utilizan diversas formas para nombrar la pérdida por transmisión del sonido y su correspondiente notación. En ingles se le denomina Transmisión loss o TL,...recurre a nombrarlo aislamiento acústico específico R, y otros autores de habla hispana lo denominan pérdida de transmisión sonora o PTS.

calculo, sin embargo, según Arau (1999) este cálculo se puede simplificar si la diferencia entre los niveles para una misma banda de frecuencia específica y para una misma habitación o conjunto de valores en un mismo recinto no supera los 10dB. Cumpliéndose este criterio se define el nivel sonoro promedio L_{p1} o L_{p2} como la media aritmética del conjunto de valores medidos en cada situación.

Por lo tanto se puede concluir claramente que el término pérdida por transmisión sonora esta patronado internacionalmente y obedece a unas situaciones sonoras particulares que no se pueden descartar, lo que sustenta que el método que se utilizó durante esta fase se considera no convencional; sin embargo cabe anotar que, como lo propone la norma, “si suponemos que no existe otra transmisión sonora que la que se produce a través de la pared divisoria entre las dos salas, ...[el calculo de la pérdida por transmisión sonora establece] un punto de vista del balance energético producido [y la ecuación varía]... para distintas condiciones de difusividad sonora en los recintos que se hallan separados por una pared divisoria...”(1999, 115)²⁶.

En la práctica efectuada para esta investigación se trató abordar la mayor cantidad de circunstancias teóricas y prácticas con el fin de acercar el método propuesto a los requisitos reales normativos.

En el sistema básico de operabilidad dispuesto en el salón de pruebas se determinó que resultaba imposible generar de manera fidedigna las principales condiciones. Crear un campo sonoro difuso exigía un tratamiento muy difícil para el sitio y con el tipo de parlante que se trabajo no era posible generar sonido omnidireccional. A través de la investigación bibliográfica y de la colaboración académica se pensó la forma para simular dichas condiciones.

Básicamente existen dos razones fundamentales para determinar la pérdida por transmisión del sonido bajo condiciones difusas. La primera de ellas se refiere a que el

²⁶ En Arau (1999) se determinan cuatro situaciones que arrojan igual numero de valores de la perdida por transmisión del sonido en función de las características de la onda sonora y de las habitaciones de prueba.

ángulo de incidencia de la onda debe ser el mismo en toda la superficie del elemento y la segunda que el nivel sonoro en toda la superficie del mismo debe ser lo mas homogéneo posible.

Para lograr subsanar estos motivos se decidió experimentar una forma poco usual de simular dicha condición difusa. Se consideró que el parlante en las cercanías a su superficie generadora poseía un nivel sonoro bastante homogéneo, y que si se le disponía lo suficientemente cerca de la pared podría darse el caso de que se emitieran ondas con ángulos de incidencia iguales o muy parecidos sobre la superficie expuesta de la pared. No obstante existía otro inconveniente que podría afectar los valores de los niveles sonoros, la transmisión por vías ajenas a la pared, es decir la transmisión por flancos, ya que nada nos garantizaba que el valor que arrojará el sonómetro al otro lado de la pared resultaría ser únicamente el valor de la presión sonora transmitida por esta, sin contar aquella parte de la energía sonora que se irradiaba por la puerta del salón y por las otras paredes o muros que igualmente estaban en contacto con la pared en estudio. Se decidió entonces colocar el sonómetro lo mas cerca posible a la pared al momento de medir lo niveles del lado opuesto, para que este se viera influenciado únicamente por el sonido irradiado por la partición y se trató de que los niveles sonoros en la fuente no fuesen lo demasiado potentes para evitar reflexiones dentro del aula y que la pared además de radiar el sonido transmitido a través de ella también radiara, sobre el sonómetro, el sonido reflejado.

Se resolvió generar un rango de frecuencias específico para medir los niveles sonoros. Este rango comprendía frecuencias en bandas de octava desde la de 250 Hz. hasta la de 2000 Hz. Se determinó ubicar el parlante a una altura del piso en la que fuese manejable y poco dispendioso realizar las mediciones.

El procedimiento de toma de datos se realizó de la siguiente manera: se ubicó el equipo en la forma como se muestra en el esquema (figura 6) y se generaron las frecuencias en bandas de octava antes mencionadas. En cada frecuencia se tomaron cinco (5) datos del nivel sonoro en el parlante, en una posición próxima a la salida (Aprox. 5 cms),

distribuidas estas posiciones en toda el área superficial del mismo y cinco (5) datos en el área superficial de la pared en el lado opuesto al del parlante, es decir dentro del salón, a una distancia ortogonal de aproximadamente 2 a 3 cms de la superficie. Se buscaba con esta cantidad de datos establecer un promedio del nivel sonoro en la salida del parlante y un promedio del nivel sonoro del nivel transmitido por la pared, por lo cual se midieron estos niveles en distintas ubicaciones dentro de las áreas mencionadas. Los datos se recolectaron en la tabla 7, y se aprecia en la figura cada posición del sonómetro en el área establecida.

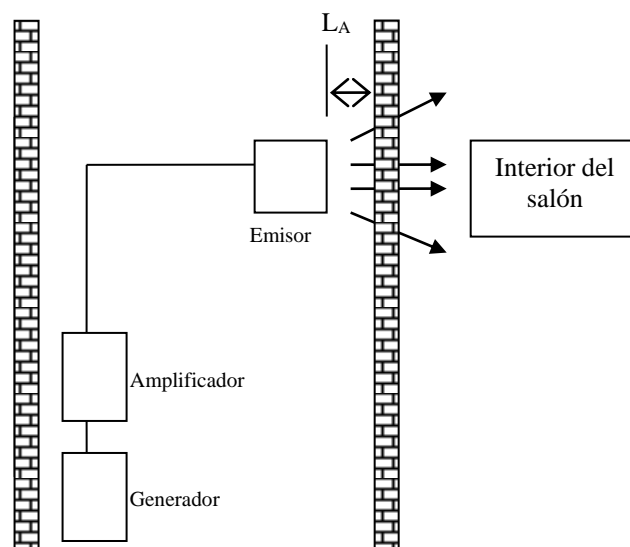


Figura 7 Esquema de la ubicación de la fuente sonora, donde L_A es la distancia ortogonal al muro divisorio (aproximadamente 5,0 cms).

Los datos recogidos en la primera parte de la tabla (datos con numeral y literal) corresponden a los niveles sonoros a la salida de la fuente y los de la segunda (datos con numeral únicamente) corresponden a los obtenidos en la pared del lado opuesto a la superficie radiada, trabajando bajo el supuesto de que la única vía de transmisión es la pared. En cada grupo se determinó su correspondiente media aritmética (1ª y 1b) y el nivel del ruido de fondo.

f(Hz)	Nivel de Presión Sonora en dB											1b	R.F.
	Posiciones del sonómetro												
	1a	1A	2A	3A	4A	5A	1	2	3	4	5		
250	98,32	99,20	98,00	97,60	98,50	98,30	71,50	72,80	71,80	70,00	70,90	71,40	63,50
500	105,10	104,50	105,80	105,80	104,00	105,40	64,50	71,20	71,80	64,60	69,00	68,22	63,90
1000	120,32	119,40	119,40	119,40	119,40	124,00	77,40	75,20	77,50	80,40	77,00	77,50	63,30
2000	122,24	122,00	122,30	124,90	122,00	120,00	80,00	82,00	76,50	73,60	74,20	77,26	63,30

Tabla 7 Niveles sonoros para determinar la pérdida por transmisión del sonido de la pared del salón. Los valores con numeral y literal corresponden a la salida de la fuente y los valores con numeral únicamente corresponden a los medidos dentro del salón, con sus respectivos promedios aritméticos 1ª y 1b, y el ruido de fondo presente en las medidas.

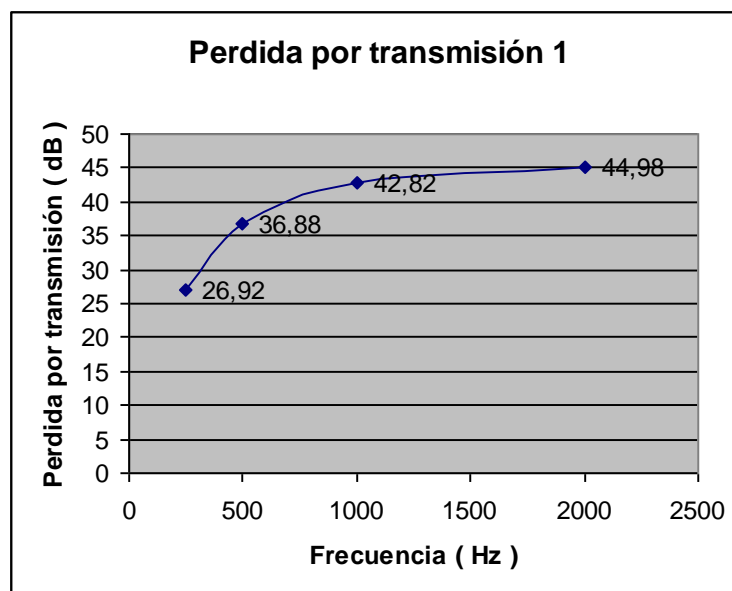
Los valores de la tabla generan una gráfica de la pérdida por transmisión sonora versus la frecuencia de cada dato, partiendo de la diferencia entre los valores promediados 1ª y 1b. Idealmente este procedimiento sería suficiente para caracterizar la PTS del material, pero se deben considerar ciertas correcciones para los valores en función de algunas “arbitrariedades” características del funcionamiento del equipo, el sitio y la forma como se llevaron a cabo los procedimientos.

El proceso que se planteó para generar la grafica de PTS vs. F representativa de la pared consistió en analizar cada conjunto de datos aplicándole los procesos correctivos del caso. En primera instancia se consideraron los datos de forma virgen, es decir tal y como se habían tomado. En segundo lugar se planteó recurrir a la generación de rangos para excluir medidas pico que se alejaran de la suma o diferencia del nivel de error o de confiabilidad a la media aritmética y trabajar con estos valores para calcular el promedio. El tercer análisis incluyó el anterior rango y a los valores contenidos dentro de el mismo, realizarles las correcciones necesarias para entregar un único valor de PTS. La cuarta forma consistió en calcular el promedio con todos los valores obtenidos y realizar las correcciones necesarias de su promedio.

Dentro del marco del primer análisis se construyó la tabla 8 y la gráfica 1. En la primera, cada numeral corresponde a la diferencia de niveles entre los medidos en la salida de la fuente y en la superficie de la pared dentro del salón de cada uno de los puntos del área influenciada directamente por la onda y la pérdida por transmisión de la pared en cada frecuencia de bandas de octava corresponde al promedio aritmético de estos valores.

F (Hz)	1	2	3	4	5	PTS
250	27,70	25,20	25,80	28,50	27,40	26,92
500	40,00	34,60	34,00	39,40	36,40	36,88
1000	42,00	44,20	41,90	39,00	47,00	42,82
2000	42,00	40,30	48,40	48,40	45,80	44,98

Tabla 8 Pérdida por transmisión sonora PTS promediada espacialmente en cinco puntos. Resultados bajo un primer análisis de todos los datos tomados sin corrección alguna.



Gráfica 1 Pérdida de transmisión sonora vs. frecuencia. Resultados bajo un primer análisis de todos los datos tomados sin corrección alguna.

Para el segundo análisis se determinaron en primer lugar los elementos necesarios para definir el rango de valores con que se trabajaría. Se estimaron las correspondientes

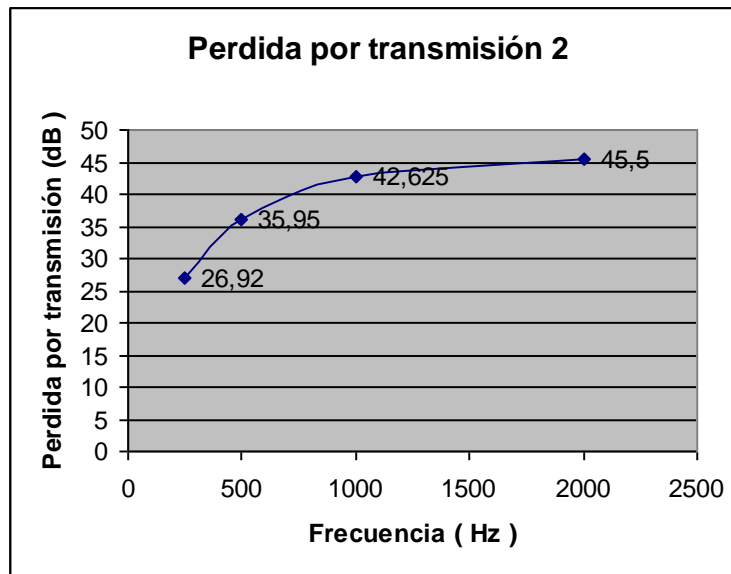
media aritmética o promedio, la desviación estándar y el nivel de confiabilidad para cada conjunto de valores y, consecuente con ello, se definió el rango adicionando o restando el nivel de confiabilidad a la media aritmética, con el fin de hacer más homogénea la muestra y aumentar la confianza en la toma de datos.

	LI 1	LS 1		Prom.1a	LI 2	LS 2		Prom. 1b	PTS
250	96,82	99,82		98,32	69,90	72,90		71,40	26,92
500	103,60	106,60		105,10	65,22	71,22	64,50	69,15	35,95
1000	118,32	122,32	124,00	119,40	75,50	79,50	80,40	76,78	42,63
2000	120,24	124,24	124,90	121,58	74,26	80,26	82,00	76,08	45,50

Tabla 9 Pérdida por transmisión sonora promediada R entre los valores por dentro de los límites superior e inferior de la media aritmética.

Los valores de este análisis se encuentran consignados en la tabla 9. Se observan el límite inferior (LI) y el superior (LS) para cada conjunto de valores en la salida de la fuente (1) y en la superficie de la pared dentro del salón (2) Los valores resaltados son aquellos que se encuentran fuera del rango y en la columnas siguientes a ellos (Prom. 1ª y Prom. 1b) se encuentran el promedio de nivel para cada frecuencia banda de octava, calculado con los valores dentro del rango. El valor de PTS es la diferencia entre los promedios referidos, de esta forma con ese valor y cada frecuencia específica de bandas de octava se construye la gráfica 2.

El tercer análisis incluyó también los datos escogidos dentro del anterior rango delimitado por el nivel de confiabilidad. A partir de estos datos se encontró el promedio del nivel sonoro para los dos conjuntos de referencia. Se decidió entonces involucrar las correcciones necesarias y observar como resultaba la variación del valor final de PTS. reduciendo la cantidad de valores y corrigiendo los posibles errores en el procedimiento de medida se generó la Tabla 10.



Gráfica 2 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el segundo análisis.

Los valores Prom 1a y Prom 1b corresponden a las respectivas medias aritméticas calculadas entre los valores por dentro del rango establecido en el análisis anterior. A cada valor de esos se les realizó las respectivas correcciones del caso.

	Prom.1 ^a	Prom.1b	R.F:	C1a	C2a	C1b	C2b	Prom. 1a C.	Prom. 1b C.	PTSc
250	98,32	71,40	63,50	0,00	1,00	0,80	1,00	97,32	69,60	27,72
500	105,10	69,15	63,90	0,00	1,00	1,50	1,00	104,10	66,65	37,45
1000	119,40	76,78	63,30	0,00	1,00	0,20	1,00	118,40	75,58	42,83
2000	121,58	76,08	63,30	0,00	1,00	0,24	1,00	120,58	74,84	45,74

Tabla 10 Pérdida por transmisión sonora promediada corregida PTSc calculada entre los valores por dentro de los límites superior e inferior de la media aritmética.

La primera corrección (C1a y C1b) corresponde a la realizada por el efecto del nivel del ruido de fondo. “De forma ideal, las medidas de las fuentes de ruido, [(en nuestro caso la fuente emisora de las frecuencias generadas)]...deben realizarse en ausencia de cualquier ruido de fondo significativo,...[pero] cuando esto no es posible, la contribución acústica del ruido de fondo puede reducirse mediante una cuidadosa elección ...[de elementos aislantes]. La situación habitual en la práctica es la de un nivel

de ruido de fondo demasiado alto para ser ignorado, de manera que, a menudo es necesaria una corrección que tenga en cuenta su influencia sobre la medición (Harris, V1 1995, 9.11)”

En la cuarta columna se especifica el ruido de fondo respectivo para cada medición²⁷, aclarando que el nivel era el mismo tanto en el corredor donde se ubicaba la fuente como dentro del salón donde se median los niveles del lado opuesto de la pared. La corrección por el ruido de fondo fija su validez solo si el nivel es estable durante las mediciones, requerimiento que se cumplió en la experimentación.

El procedimiento se realiza de la siguiente manera: primero se determina la diferencia entre el nivel del ruido de fondo aislado y el nivel medido²⁸, que para este caso serían los valores promediados 1a y 1b. Si la diferencia es 3 dB o mayor se realiza la corrección, que consiste en determinar a partir del nomograma de la figura 7 el valor de corrección; este valor se le resta al nivel sonoro promediado, para obtener el nivel sonoro promediado aislado, es decir como si existiera un ruido de fondo insignificante que se pudiese enmascarar con el sonido emitido por la fuente.

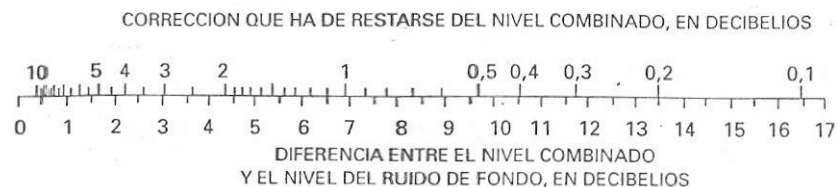


Figura 8 Nomograma para corregir el ruido de fondo (Tomado de Harris, V1 1995).

Podemos tomar un ejemplo para hacer más entendible este suceso. El nivel sonoro promedio en el lado opuesto de la pared para la frecuencia de 250 Hz. es de 71,4 dB y corresponde a la combinación del ruido de fondo y el sonido emitido por la fuente. El

²⁷ El nivel de ruido de fondo correspondiente en cada fila de cada frecuencia específica se refiere al nivel presente durante la medición de los niveles sonoros en la fuente y en el lado posterior de la pared, mas no al nivel de ruido de cada frecuencia.

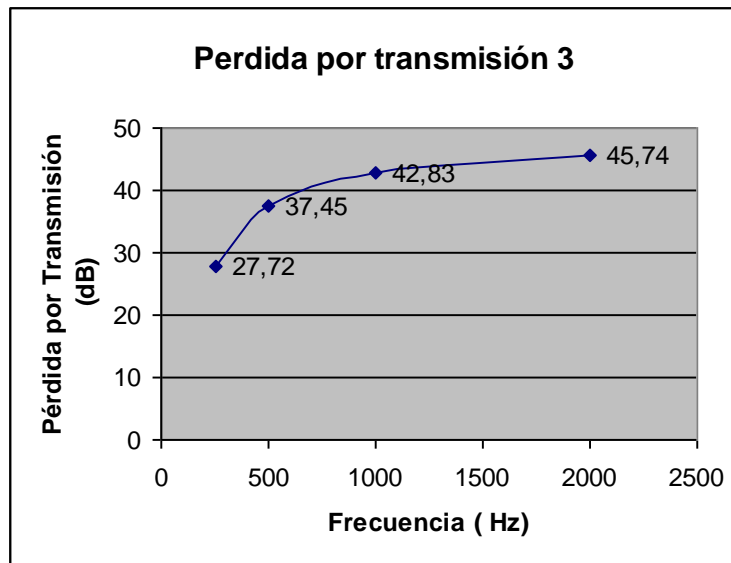
²⁸ En la práctica cada nivel medido resulta de la suma energética o combinación del nivel de ruido de fondo aislado y el nivel de los otros sonidos generados en el recinto en estudio. Particularmente en este trabajo el único sonido ajeno al ruido de fondo resultaba el generado por el sistema de la fuente.

ruido de fondo medido con la fuente apagada (ruido de fondo aislado) es de 63,50 dB. Según el nomograma de la Figura 8 la corrección es de 0,8 para la diferencia que se presenta, y este valor de corrección se le resta al inicial. En otras palabras la fuente “realmente” está emitiendo un nivel sonoro de 70,6 dB, con un ambiente expuesto a un ruido de fondo de 63,50 dB. Obviamente el sonómetro no logra hacer esa diferenciación, razón por la cual se hace evidente el uso de este correctivo.

La segunda corrección se establece por la caja del instrumento y la posición del observador. “La forma más cómoda de realizar mediciones acústicas de campo es mediante el uso de instrumentos que pueden sujetarse en la mano(...).La caja del instrumento y el cuerpo del observador que la sujeta pueden afectar a los datos medidos, sobre todo si el observador se encuentra cerca del micrófono(...).Para minimizar tales efectos, el observador debe sujetar el aparato a la distancia de un brazo y hacia un lado (...).La parte frontal en forma de cono y la extensión del micrófono de muchos sonómetros están diseñados para minimizar la reflexión sobre el propio cuerpo del instrumento(9.15).

En el libro “Manual de medidas acústicas y control del ruido, Vol I” se establecen unas gráficas que proporcionan información sobre la corrección por este efecto. En ellas se aprecia que el nivel sonoro puede variar mas o menos 1,0 dB como máximo en cada frecuencia específica utilizada, así que, aquí se asumió ese valor para realizar las correcciones al promedio de los niveles sonoros, valores de la corrección que se establecen en la sexta y octava columna para el nivel a la salida de la fuente y en el lado opuesto de la pared (C2a y C2b respectivamente).

Con estas cuantías corregidas plenamente definidas se realizaron las operaciones de rutina para especificar la pérdida por transmisión sonora de este análisis. Las correcciones se restaron de los promedios 1a y 1b y la diferencia entre estos nos arrojó el PTS con el cual se construyó la gráfica 3.



Gráfica 3 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el tercer análisis.

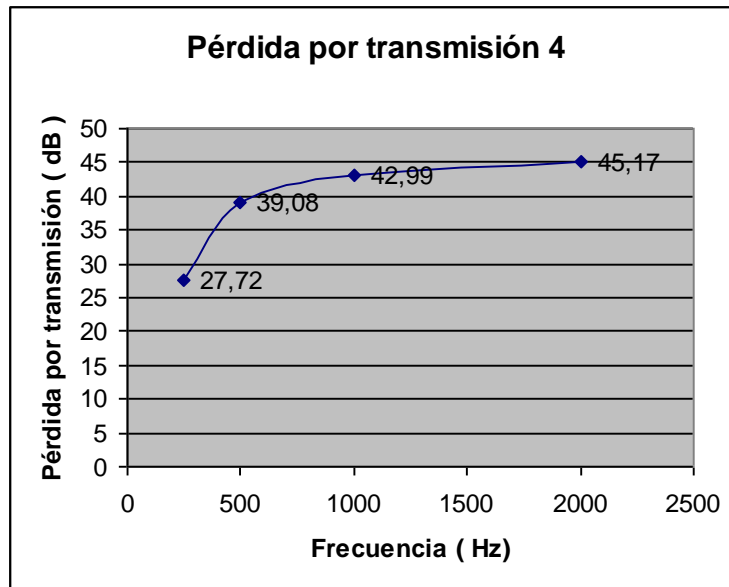
El cuarto análisis incluía una valoración a todos los datos obtenidos, pero al igual que el anterior, con las correcciones aplicada a cada par de valores promedio representativo de cada conjunto de medidas. Estos valores están consignados en la tabla 11.

f (Hz.)	1a	1b	R.F:	C1a	C2a	C1b	C2b	Prom. 1a C.	Prom. 1bC	PTS _c
250	98,32	71,40	63,50	0,00	1,00	0,80	1,00	97,32	69,60	27,72
500	105,10	68,22	63,90	0,00	1,00	2,20	1,00	104,10	65,02	39,08
1000	120,32	77,50	63,30	0,00	1,00	0,17	1,00	119,32	76,33	42,99
2000	122,24	77,26	63,30	0,00	1,00	0,19	1,00	121,24	76,07	45,17

Tabla 11 Pérdida por transmisión sonora promediada (PTS) corregida Rc calculada entre todos los valores.

Las convenciones y los métodos utilizados para hallar cada cifra corresponden a lo usado en el anterior diagnóstico, excepto que los promedios iniciales sin corregir hallados en 1a y 1b se efectuaron sin despreciar ningún valor de la totalidad de los muestreados. Con el estimado de PTS y cada frecuencia de prueba se construyó la gráfica 4.

A ciencia cierta estos valores examinados comparativamente entre ellos no reflejan alguna razón para hacerlos validos o descalificarlos; es necesario que la comparación se efectúe con algún grupo de valores de PTS hallados teóricamente o bajo el amparo normativo, para condiciones constructivas muy similares del elemento analizado.



Gráfica 4 Pérdida por transmisión vs. Frecuencia para el cuarto análisis.

Terminados estos cuatro tipos de análisis podemos construir una tabla comparativa con cada uno de los resultados derivados de ellos.

	Aislamiento Acústico PTS			
	250	500	1000	2000
PTS 1	26,9	36,9	42,8	45,0
PTS 2	26,9	36,0	42,6	45,5
PTS 3	27,7	37,5	42,8	45,7
PTS 4	27,7	39,1	43,0	45,2

Tabla 12 Comparación de cada conjunto de valores de PTS por frecuencia específica hallados en los cuatro métodos de análisis propuestos.

Como se advirtió anteriormente el elemento consiste en una pared construida en ladrillo común en organización de soga, repellada, con estuco y pintura tradicional, que comprende una sección ortogonal a la superficie en estudio de 15 cms. De esta manera los datos que se confronten con los encontrados experimentalmente deben corresponder a un elemento con las mismas características morfológicas.

La pared funciona, en términos acústicos como una partición simple, es decir que sus dos caras exteriores están conectadas rígidamente. Para particiones simples la pérdida por transmisión del sonido “teórica” depende como se vio anteriormente de su masa por unidad de área y su frecuencia. Cada conjunto de datos de PTS hallado tiene su contraparte construido por la ley de masas y por lo que se haya encontrado con alguna norma internacional referente a la pérdida por transmisión sonora (ASTM E 90, UNE EN ISO 140-1 y UNE EN 140-3, etc.).

Con respecto a la ley de masas referenciada anteriormente, tenemos la siguiente expresión para la pérdida por transmisión del sonido:

$$PTS = 20\text{Log}_{10}(mf) - 48 \quad (2.2)$$

Donde:PTS es la pérdida por transmisión en dB

m es la masa por unidad de área en Kg./cm²

f es la frecuencia en Hz.

Para una masa constante y un rango de frecuencias específico, esta ecuación genera una recta positiva (es decir que con el aumento de la abscisas aumenta las ordenadas) que predice el comportamiento sonoro “supuesto” del elemento. En nuestro caso la pared posee una masa por unidad de área de 270 Kg/m² o 0,027 Kg/cm² y el rango de frecuencias va desde la de 250 Hz. hasta la de 4000 Hz. en frecuencias de banda de octava. Con estos datos se construyó la Tabla 13.

	250	500	1000	2000
PTS Teórico	48,6	54,6	60,6	66,6

Tabla 13 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica aportada por la pared a partir de la ley de masas.

La ley de masas predice un comportamiento ideal del elemento, sin tener en cuenta la frecuencia crítica y su consiguiente efecto en la curva de transmisión del sonido. Como la frecuencia crítica involucra cualidades intrínsecas del elemento o partición, tales como la rigidez y el grosor, cuan mas grueso es, mas baja se encontrará esta frecuencia y viceversa. En término generales la frecuencia crítica es inversamente proporcional al espesor de la pared, siempre y cuando la elasticidad y la densidad de la pared sean iguales.

A partir del valor de la frecuencia crítica y su relación con otras características como el amortiguamiento, el ángulo de incidencia crítico, la velocidad de flexión de la onda, la impedancia de la pared, etc. e determinan los valores de R afectados por éste efecto de coincidencia.

Para hallar la frecuencia crítica de un material es necesario realizarle el ensayo del módulo dinámico de Young, pero existen métodos alternativos menos exactos para encontrar la frecuencia crítica. En Arau (1999, 126, figura 4.11 y tabla 4.1) exponen, a título ilustrativo, una relación entre la frecuencia crítica y el espesor y una tabla de la relación de la frecuencia crítica con la densidad y el factor de amortiguamiento para un (1) cm de espesor y para diversos materiales, entre ellos el ladrillo común o macizo.

En estas tablas y gráficas le asignan al ladrillo una densidad de 1650 kg./m² y en nuestro territorio se utiliza una medida estándar de 1800 Kg/m² para una pared usual de este material, así que, como la diferencia no es muy grande, se pueden utilizar estos recursos del ladrillo para una aproximación muy cercana a la frecuencia de rigidez de la pared. Según esto se tendría una frecuencia crítica aproximada de 150 Hz., para un espesor de aproximadamente 15 cms y un factor de amortiguamiento de 6,10⁻³.

Continuando con un proceso lógico se deben recalcular los valores de PTS para las distintas frecuencias. El mismo autor expone un nomograma de cálculo de PTS especificando distinguidas áreas antes y después de la frecuencia crítica. En este nomograma se ven implícitos los conceptos relacionados al efecto de coincidencia antes mencionado y se efectuó por “analogía eléctrica de la pared”²⁹. Para simplificar los cálculos el autor propone tres formulas, que se presentan a continuación:

a. Para f menor que f_c , tenemos que PTS se rige por la ecuación de la ley de masas.

b. Para f mayor que f_c tenemos la siguiente ecuación :

$$PTS = 20\text{Log}(\omega m / 2(\rho c)) - 10\text{Log} \pi / 2\eta - 10\text{Log}[f_c / f(1 - f_c / f)] \quad (2.3)$$

c. Para f igual a f_c tenemos la siguiente ecuación :

$$PTS = 20\text{Log}(\omega m / 2\rho c) + 10\text{Log} \eta / \pi \quad (2.4)$$

Donde ω es la pulsación igual $2\pi f$

η es el factor de amortiguamiento

ρc es la impedancia característica del aire³⁰

f es la frecuencia de cálculo

f_c es la frecuencia crítica

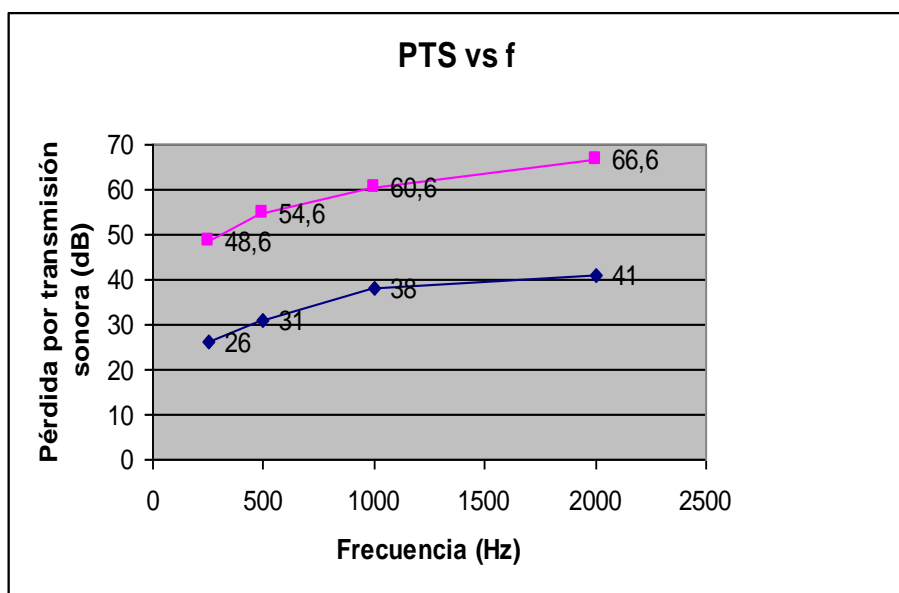
m es la masa por unidad de área del material

Realizando los cálculos correspondientes a nuestra pared en estudio, ya sea utilizando el nomograma o estas fórmulas, encontramos que para las frecuencias propuestas experimentalmente, todos los posibles valores de PTS se hallan en la zona donde f es mayor que f_c , ya que f_c lo asumimos igual a 150 Hz. La información obtenida se resume en la tabla 14 y se expone en la gráfica 5.

²⁹ Nota textual del autor del libro referenciado.

	250	500	1000	2000
f/f_c	1,67	3,33	6,67	13,33
N	0,04	0,04	0,04	0,04
m (kg./m ²)	270,00	270,00	270,00	270,00
PTS Teórico 2	26	31	38	41

Tabla 14 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica teniendo en cuenta el efecto de coincidencia.



Gráfica 5 Pérdida por transmisión sonora vs. Frecuencia por la Ley de masas (curva superior) y por La ley de masas con corrección por el efecto de coincidencia (Curva inferior).

Ahora que ya se determinó el valor “teórico” de la pérdida por transmisión sonora, es necesario conocer cual sería la pérdida normalizada para la pared estudiada. Evidentemente la única forma de conocer realmente este valor sería realizando alguno de los ensayos normalizados a una partición construida con los mismos materiales y en la misma disposición que la pared referenciada. Como se vio anteriormente, ante la imposibilidad de llevar a cabo ese proceso fue necesario buscar algún conjunto de datos realizados a un elemento de similares características.

En Arau (1999) se presenta una tabla de valores de la pérdida por transmisión sonora por frecuencias para distintas paredes simples. Entre ellas destacamos el grupo de valores para una pared de ladrillo macizo de 140 mm. Por tener una condición similar a la nuestra. Estos datos se recolectan en la tabla Presentada a continuación.

	250	500	1000	2000
PTS Teórico	30	38	46	54

Tabla 15 Valores de la pérdida por transmisión sonora para una pared simple de ladrillo macizo de 140 mm de espesor (Tomado de Arau, 1999).

Estos resultados son arrojados por ensayos normalizados en España y posiblemente corresponden a lo que determina la norma UNE EN ISO 140 -1 y UNE EN 140 -3.

Consecuente al proceso que se viene llevando a cabo es menester crear un cuadro comparativo con el fin propuesto en el objetivo en aras de determinar que tan alejado se encuentran los valores resultantes de la experimentación con los valores extraídos del exhaustivo análisis “teórico” y del propuesto develado a partir de la norma.

	Aislamiento Acústico PTS			
	250	500	1000	2000
PTS 1	26,9	36,9	42,8	45,0
PTS 2	26,9	36,0	42,6	45,5
PTS 3	27,7	37,5	42,8	45,7
PTS 4	27,7	39,1	43,0	45,2
PTS Teórico 1	48,6	54,6	60,6	66,6
PTS Teórico 2	26	31	38	41
PTS Teórico 3	30	38	46	54

Tabla 16 Cuadro comparativo de la pérdida por transmisión sonora de los análisis experimentales (PTS 1-4) con sus respectivos teóricos debido a la ley de masa (PTS Teórico 1) , ley de masa con efecto de coincidencia (PTS Teórico 2) y ensayo normalizado (PTS teórico 3). Nótese que el grupo de valores resaltado es el que mas se asemeja a los valores de PTS teóricos 2 y 3.

Un estudio a la anterior tabla nos da entonces los primeros visos de que tan influyentes resultaron las medidas de la que se prescindió y las condiciones que fueron ignoradas y/o adecuadas al realizar el ensayo de una manera no convencional, sin embargo en las conclusiones se diserta sobre el derrotero decisivo de este aspecto.

3.3 Fase de experimentación II

Luego de desglosar analíticamente la situación que presenta un solo elemento divisorio al ser incidido directamente por una onda sonora, el siguiente paso lógico consistiría en estudiar que sucede si ese elemento hace parte, como realmente sucede, de todo un gran conjunto que forma un recinto. En un estudio de este nivel y cuando se han determinado las características acústicas de la partición en función de su pérdida de transmisión sonora, surge el interrogante de especificar la identificación que atañe a todo el espacio ensayado en general.

Cuando se trata de un espacio cerrado destinado a albergar público y bajo las condiciones sonoras explicadas en el Capítulo 2, la situación involucra nuevos agentes que influyen en el ambiente que presenta el recinto durante su uso cotidiano.

“Siempre ha existido gran preocupación de carácter técnico por parte de las entidades públicas dedicadas al bienestar social y de los técnicos especialistas en hallar los criterios ideales del *comfort* acústico dentro de las viviendas y recintos públicos” (68).

El extracto anterior maneja unos criterios sumamente idealistas y su representación en la realidad regional actual posee formas de sofisma, debido a que en este momento, si bien es aplicado en muchas zonas del mundo, debe ser tomado como un punto de partida que, realizando una lectura de él, más como una finalidad que como una realidad, resume un objetivo a largo plazo de investigaciones de este tipo.

La finalidad propuesta anteriormente emerge en la búsqueda de condiciones propicias para generar confort en distintos niveles y en distintas representaciones. Lo que aquí se

aborda entonces, en los dominios de la acústica, dependerá exclusivamente de factores particulares que se desglosan en todo el trabajo, pero sus implicaciones van mas allá de dominio acústico, insertándose en la calidad de vida, la salud pública, el impacto ambiental, etc. Por estas implicaciones se justifican de alguna forma los estudios en esta materia.

Abordando de nuevo las determinaciones técnicas "...es sabido que el confort acústico dependerá decisivamente de los niveles de ruido de fondo existentes en el interior de una sala destinada a una función determinada" (68). Los criterios para establecer el confort acústico interior se basan en investigaciones que sobre el ruido han realizado en los últimos 50 años intelectuales del tema, como Kosten y Van Os, Beranek, entre otros, desarrollando modelos de curvas para establecer relaciones entre los niveles de ruido y los requerimientos del espacio físico donde se presenten.

Estas curvas patronan el comportamiento frecuencial del ruido de fondo y los espacios físicos, sean estos hospitales, coliseos, auditorios, etc., disponen la utilización de alguna de ellas, para tratar de ajustar su forma edificativa y lograr una efectividad en este campo.

En este proceso, es de mucha importancia lo que logren aportar, en términos de aislamiento, los elementos constructivos que definen el entorno de cada espacio. La suma de los aportes de cada elemento constituye lo que se conoce como la Reducción del ruido. Por lo tanto, así existan unos niveles altos de ruido externo, si el espacio en consideración posee una reducción del ruido apropiada, no se presentaran problemas concernientes a la legibilidad e inteligibilidad de los sonidos concurrentes en el lugar.

La reducción del ruido en un recinto es función de su pérdida por transmisión sonora, el área superficial de todos los elementos interiores y la absorción propia de cada superficie. Esta característica acústica es patronada en cada banda de frecuencia, pero los índices que definen su aplicación en cada espacio, determinado por su uso,

corresponden a valores absolutos, es decir es un número único, indistinto de las frecuencias que involucren los ruidos que interfieren en el lugar.

El análisis aquí presentado corresponde únicamente a un acercamiento práctico para conocer como es el comportamiento del ruido dentro del recinto a partir de las capacidades aislantes de los elementos divisorios y de las propiedades absorbentes de las superficies interiores, tratando de simular, de manera precaria, las condiciones reales de ruido y estimando la reducción que aportaría el salón al ser sometido a ondas sonoras incidentes en una parte de sus muros divisorios.

Las ecuaciones presentadas anteriormente para definir cuantitativamente la pérdida por transmisión sonora incluyen un término de diferentes presiones entre las dos habitaciones separadas por el elemento divisorio. Este término se refiere a la reducción del ruido, es decir, representa la pérdida de nivel “neta” entre dos recintos expuestos a las mismas condiciones necesarias para hallar la pérdida por transmisión sonora, siempre y cuando la pared en cuestión sea el único elemento divisorio entre los dos recintos y presente características sonoras homogéneas y continuas, es decir que posea el mismo coeficiente de transmisión sonora en toda la dimensión del muro.

En este caso presentaríamos un inconveniente, ya que la unidad divisoria del salón comprende distintos elementos constructivos, entre ellos la pared que se estudió en la fase anterior. A partir de ello se tiene que recurrir a suposiciones técnicas y realizar los análisis con base en ellas.

La primera conclusión que se rescata de lo anterior es que en la experimentación no podemos abstraernos de la condición real, así que el análisis se realiza sobre la división compuesta, es decir que se incluye pared, columnas y puerta, puesto que la onda radiaría sin despreciar su incidencia sobre ningún elemento.

Sin embargo, el equipo utilizado para radiar el sonido, no permitía, como en la fase anterior, que el sonido llegase con una intensidad muy similar sobre toda el área del

muro divisorio y como el concepto de reducción del ruido presupone una radiación sobre toda el área, se recurrió a lo determinado en la fase de prueba para exponer la pared a una onda sonora lo mas homogénea posible.

Si las condiciones para establecer el parámetro que queríamos hallar exigían una incidencia sonora uniforme, homogénea y difusa sobre uno de los muros, nuestra labor consistió en tratar de propiciar dichas condiciones con los recursos que se poseían así el área de radiación no fuese la totalidad de la división, en otras palabras, solo radiamos una parte de la división.

Así que la parte experimental resumida se explica de la siguiente forma: radiar un área parcial de la división –la correspondiente a la pared estudiada- y realizar la diferencia de niveles entre el exterior y el interior del salón, a partir de los datos recogidos sobre la superficie parcial de la división (muro divisorio común) y los datos tomados internamente dentro del salón. Esta diferencia es la que llamaríamos “reducción del ruido experimental”, y es nuestro valor correspondiente a un método no convencional.

Para empezar, en primer lugar contábamos con la información resultante de la fase de prueba, que nos acercó al comportamiento de la onda sonora en la superficie exterior del muro y además sabíamos a través de la información recolectada en los primeros acercamientos de algunos impedimentos técnicos lo que teníamos con el equipo usado. Uno de ellos se refería a la dificultad que se generaría al tratar de radiar la totalidad de la división exterior ya que exigía el uso de los dos parlantes y en un caso de estos no podríamos tener una clara diferenciación entre las partes que estuviesen afectadas por cada uno de ellos, puesto que los dos afectarían a una y otra de las superficies exteriores del muro separadas por una columna (ver fotografía 7) y además no se podría generar un nivel sonoro exactamente igual en los dos parlantes que usamos, por la manera como venían predeterminados sus controles manualmente.



Fotografía 7 Parte exterior del muro divisorio que forma parte del conjunto total. Nótese que la columna afecta la continuidad de la superficie.

En la fase de prueba se estableció que un factor determinante al momento de propiciar mejores condiciones de homogeneidad consistía en el control de la reverberación en el sitio donde se generaría la onda. Por las características morfológicas y compositivas del sitio de pruebas se clarificó, de acuerdo con los resultados del ensayo de la primera fase, que en las frecuencias altas la onda resultaba más inestable y generaba aumentos y disminuciones del nivel sonoro en distintas partes de la superficie del muro.

Para evitar este inconveniente y teniendo en cuenta los impedimentos mencionados, el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Primero se resolvió que solo se usaría un parlante y se radiaría una sola parte del muro, es decir una parte comprendida entre dos columnas, que equivale aproximadamente a la mitad de la totalidad del muro divisorio.
- Como segundo paso se trató de cubrir la mayoría de superficies reflectivas con material absorbente, o que actuaran como tal. Se abrieron las ventanas del pasillo y se cubrió, detrás de la ubicación del parlante, el área de pared y ventana con cortinas de otros salones. Además sobre el piso se desplegó un elemento de lana, para evitar reflexiones próximas a la pared.

- Se colocó el equipo en la misma ubicación de la fase de prueba y se utilizaron los mismos puntos de medida.
- Se determinaron los puntos interiores de medida en sus tres coordenadas; se definieron ocho puntos interiores de medida, tres sobre la cara interior del muro y dos en el flanco que tiene vista al exterior del edificio, paralelo al muro divisorio, uno en el flanco posterior ortogonal al muro y otro en la mitad del salón, todos estos a una altura de 1,20 mts, y un último punto de medida en el flanco anterior (donde se encuentra ubicado el tablero de acrílico) a una altura de 1,70 mts (ver figura 8)³¹.

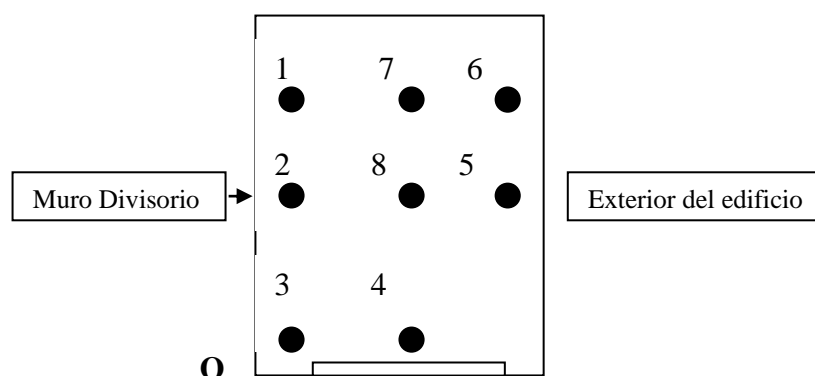


Figura 9 Esquema de ubicación de los puntos de medida dentro del salón. La O corresponde al origen del sistema de coordenadas.

³¹ Las coordenadas de los puntos no se definieron de forma aleatoria, lo que se pretendió fue tomar datos en lugares con características sonoras bien definidas. Los puntos sobre la parte interna del muro permitían tomar información de la onda transmitida inmediatamente después de la pared y de la endeble puerta de madera, en el tablero la altura corresponde a la de una persona promedio parada, ya que las personas que permanecen en ese sitio lo hacen de pie; los puntos del flanco con vista al exterior poseían gran influencia del ruido externo, y los de la mitad longitudinal del aula representaban en gran medida un lugar donde las ondas reflectivas podrían tener una gran influencia.

Coordenadas de los puntos dentro del salón (X-Y-Z)							
1	2	3	4	5	6	7	8
(0,05- 10,10- 1,20)	(0,05- 5,00- 1,20)	(0,05- 1,50- 1,20)	(3,60- 0,20- 1,70)	(7,50- 5,00- 1,20)	(7,50- 10,10- 1,20)	(3,60- 10,10- 1,20)	(3,60- 5,00- 1,20)

Tabla 17 Coordenadas de los puntos de medida en el salón, tomando como origen la esquina inferior mostrada en el esquema, que en la realidad corresponde a la esquina formada por el flanco anterior y la extensión lineal del muro divisorio.

- Se procedió a generar los sonidos de prueba, utilizando las frecuencias de banda de octava.
- Se midieron los niveles sonoros sobre la superficie de la pared y en los puntos internos indicados, con la puerta del recinto cerrada, teniendo cuidado de evitar interferencias por ruidos ajenos procedentes del exterior del edificio.
- Se midió el ruido de fondo, apagando la fuente después de cada medición de todos los datos para una misma frecuencia, desplazando el sonómetro por varias partes del salón y consignando el dato mas estable. Cabe anotar que el ruido de fondo presentó alto grado de estabilidad espacial y temporal en la medición.

El objetivo final de la toma de datos consistía en determinar el nivel sonoro antes del muro y el nivel sonoro dentro del salón, como estimativos globales de todos los niveles presentes en el recinto y en la parte exterior de éste.

Por tal razón se establecieron dos grupos de datos para cuantificar, en un análisis deductivo, el valor de los niveles sonoros mencionados. En un primer grupo se anotaron los datos tomados sobre la superficie exterior del muro³². Estos datos se consignan en la tabla 18.

³² Cabe anotar que en esta parte del trabajo no se referencian las coordenadas de los puntos sobre el muro ya que corresponden a los mismos utilizados en la fase de prueba. Para mayor información remitirse a la fase prueba, figura 3.

F(Hz)	Nivel de Presión Sonora en dB										R.F.	M.A.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
125	90,6	88,8	81,8	81,6	80,1	81,3	88,5	85,5	81,2	84,2	63,7	84,36
250	90,6	80,2	91,5	88,6	92	93,7	84,3	87,9	89,7	94	63,5	89,25
500	97,6	97,6	97,8	103,5	97,8	103,7	96,3	94,9	100,5	101,8	63,7	99,15
1000	108,3	104,2	104,3	105,8	104	100,6	108,6	104	102,5	104,9	63,2	104,7
2000	95,8	95,8	99,3	99,5	101,8	99,6	100,4	100,5	98,1	98,4	63,5	98,92

Tabla 18 Datos de niveles sonoros sobre la superficie del muro. La columna R.F. corresponde al ruido de fondo presente en la medición de cada frecuencia justo después de apagar la fuente³³ y M.A. a la media aritmética en cada frecuencia.

El segundo grupo de datos recolectados lo conformaron los obtenidos dentro del salón en los puntos establecidos, y se relacionan en la tabla 19.

F (Hz) 125	Numero de medidas por cada punto					M.A.
	Puntos	1	2	3	4	
1	67,20	66,40	66,40	66,40	66,40	66,60
2	66,70	64,40	64,40	64,40	64,40	64,86
3	73,80	73,80	73,80	73,80	73,80	73,80
4	67,60	68,40	68,40	68,40	68,40	68,24
5	66,20	66,20	65,90	65,90	66,00	66,04
6	68,30	67,60	67,60	67,60	67,60	67,72
7	65,20	65,30	65,30	65,70	65,70	65,44
8	67,50	67,80	67,70	67,70	67,70	67,68

³³Para mayor aclaración: el valor consignado del ruido de fondo corresponde a un espectro frecuencial con la fuente apagada, es decir al ruido presente en el sitio justo después de realizar las mediciones en una frecuencia específica, más no al ruido de fondo presente en la frecuencia medida. Esta situación se puede generalizar para la totalidad de medidas del ruido de fondo tomadas en cada fase del proyecto investigativo.

250						
1	68,60	66,90	67,40	68,00	68,00	67,73
2	71,90	71,30	71,20	71,20	71,30	71,38
3	70,60	71,80	72,00	71,50	71,20	71,42
4	70,60	71,80	72,00	71,50	71,20	71,42
5	68,40	65,40	66,80	65,70	66,00	66,46
6	71,80	72,00	72,50	72,40	73,00	72,34
7	72,50	72,50	72,40	72,40	72,40	72,44
8	67,30	67,20	68,20	67,90	68,10	67,74

500						
1	72,90	71,70	71,20	71,40	71,60	71,80
2	71,90	72,10	71,40	71,80	72,30	71,90
3	71,90	72,10	71,40	71,80	72,30	71,90
4	73,20	73,90	73,50	73,30	73,50	73,48
5	72,00	71,90	72,20	72,40	72,10	72,12
6	70,80	72,70	72,30	72,30	72,10	72,04
7	75,50	76,50	76,40	76,60	76,50	76,30
8	67,30	67,50	68,20	67,60	67,80	67,68

1000						
1	73,20	73,10	72,90	72,60	74,00	73,16
2	70,70	71,70	71,90	72,40	72,30	71,80
3	81,50	80,90	79,90	80,60	80,60	80,73
4	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
5	70,00	71,30	69,60	70,00	70,00	70,18
6	68,90	66,00	66,70	67,50	67,50	67,32
7	67,50	67,00	66,00	65,50	65,10	66,22
8	70,70	71,80	71,80	71,60	72,20	71,62

2000						
1	71,80	70,60	71,40			71,30
2	69,90	60,20	68,60			66,23
3	66,10	66,30	66,10			66,17
4	67,40	67,70	68,70			67,93
5	71,40	71,50	72,60			71,83

6	67,20	66,20	65,40			66,27
7	65,00	64,70	67,00			65,57
8	70,00	72,90	72,90			71,93

Tabla 19 Datos de los niveles sonoros dentro del salón. La primera columna corresponde a la frecuencia medida y a cada punto de medición referenciado, y la fila de cada numeral corresponde a la variación temporal del nivel sonoro en cada uno de los puntos. La última columna es la media aritmética o promedio de cada punto de medida en cada frecuencia.

La recolección de datos en el interior del aula se llevó a cabo de la siguiente manera: con la fuente encendida y después de realizar la medida en la cara exterior del muro, se procedió a registrar en cada punto geométrico escogido del salón un valor del nivel sonoro cada 10 segundos durante 50 segundos. El micrófono del sonómetro se orientó en dirección contraria de la dirección supuesta de la onda sonora a las alturas anteriormente indicadas. Para la lectura en la frecuencia de 2000 Hz solo se tomaron 3 datos temporales en cada punto, ya que se supuso que la probabilidad de que se presentase un ruido a esta frecuencia resultaba mucho más baja que la probabilidad en otras frecuencias menores; además el proceso de medida en frecuencias altas resultaba muy peligroso para la salud auditiva de las personas que nos encontrábamos en el sitio realizando las pruebas.

Después de tener registrados los datos el paso siguiente consistió en analizar que proceso se utilizaría para determinar los niveles sonoros globales de cada lugar³⁴. En la fase anterior observamos que a los datos obtenidos se les practicaron ciertos análisis cuantitativos para determinar cual medida se ajustaba más a los resultados reales que la aplicación de una norma o la teoría nos pueden ofrecer. Encontramos entonces que, eliminando algunos datos por fuera de unos límites superior e inferior previamente establecidos y aplicándoles, a la media aritmética de los datos por dentro del rango estudiado, ciertas correcciones específicas, nos arrojó los resultados más confiables y cercanos a la finalidad requerida.

³⁴ Al determinar los niveles sonoros globales de cada espacio (interior y exterior), se permitió realizar un promedio aritmético con los datos obtenidos, por localización y por frecuencia. “En las mediciones de varios puntos se puede tomar como el nivel medio para una frecuencia específica la media aritmética, si la diferencias de niveles no sobrepasa los diez decibeles” (Arau, 1999. 115-116)

Se decidió realizar un estudio similar al establecido en la anterior fase por el análisis 3. En cada grupo de valores se realizaron las operaciones del caso y se estimaron los niveles sonoros globales a partir de las condiciones nombradas en el párrafo anterior. De este análisis surgen los procesos y resultados que se presentan desglosados en las tablas y en estas tablas los resultados se presentan esquematizados en función de cada punto de análisis. En cada uno de ellos se establecen los valores temporales de los niveles sonoros de cada frecuencia de prueba, los valores de las características halladas y como síntesis, el resultado de cada nivel sonoro promediado y corregido en cada frecuencia y para cada punto.

Después de este riguroso análisis, el siguiente paso radicó en la obtención de un nivel sonoro representativo tanto del muro radiado exteriormente como del aula para las frecuencias de prueba. Para ello se promediaron los resultados de todos los puntos medidos en cada frecuencia; en la superficie exterior del muro el promedio determinado con el uso del análisis 3 de la anterior fase bastó para hallar una tabla que relacionaba las frecuencias utilizadas en la experimentación y el nivel sonoro global sobre el elemento para cada una de ellas. Mientras tanto el análisis dentro del salón requirió depurar más información, por lo que fue necesario promediar los niveles sonoros de todos los puntos medidos y establecer una relación entre las frecuencias probadas y el nivel sonoro respectivo de cada una de ellas como una representación global del nivel sonoro característico dentro del aula.

Teniendo los niveles sonoros en la parte exterior e interior del recinto, se procedió a hallar la diferencia en cada frecuencia; este valor de la diferencia corresponde entonces a la reducción del ruido aportada por la división y se atribuye propia del salón con respecto a una onda incidente sobre el muro en estudio, incluyendo en ésta disertación los efectos de la absorción aportada por los elementos internos al aula y los efectos del área incidida por la onda. En la tabla se observan estos resultados globales y la reducción del ruido del recinto.

Punto 1	1	2	3	4	5	M.A.	D.T.	Error	L.I.	L.S.	Prom.1	R.F.	Dif.	C. 1	C. 2	Prom.2
125	67,20	66,40	66,40	66,40	66,40	66,60	0,36	1,00	65,60	67,60	66,60	63,70	2,90	3,10	1,00	62,50
250	68,60	66,90	67,40	68,00	68,00	67,73	0,65	1,00	66,73	68,73	67,73	63,50	4,22	2,20	1,00	64,53
500	72,90	71,70	71,20	71,40	71,60	71,80	0,67	1,00	70,80	72,80	71,80	63,70	8,10	0,75	1,00	70,05
1000	73,20	73,10	72,90	72,60	74,00	72,95	0,52	1,00	71,95	73,95	72,95	63,20	9,75	0,48	1,00	71,47
2000	71,80	70,60	71,40	71,40	71,40	71,30	0,44	1,00	70,30	72,30	71,27	63,50	7,77	0,80	1,00	69,47

Punto 2	1	2	3	4	5												
125	66,70	64,40	64,40	64,40	64,40	64,86	1,03	1,00	63,86	65,86	64,86	63,70	1,16	5,00	1,00	58,86	
250	71,90	71,30	71,20	71,20	71,30	71,38	0,29	1,00	70,38	72,38	71,38	63,50	7,88	0,80	1,00	69,58	
500	71,90	72,10	71,40	71,80	72,30	71,90	0,34	1,00	70,90	72,90	71,90	63,70	8,20	0,72	1,00	70,18	
1000	70,70	71,70	71,90	72,40	72,30	71,80	0,68	1,00	70,80	72,80	72,08	63,20	8,88	0,63	1,00	70,45	
2000	69,90	60,20	68,60			66,23	5,27	3,90	62,33	70,13	69,25	63,50	5,75	1,50	1,00	66,75	

Punto 3	1	2	3	4	5												
125	73,80	73,80	73,80	73,80	73,80	73,80	0,00	1,00	72,80	74,80	73,80	63,70	10,10	0,45	1,00	72,35	
250	70,60	71,80	72,00	71,50	71,20	71,42	0,55	1,00	70,42	72,42	71,42	63,50	7,92	0,78	1,00	69,64	
500	71,90	72,10	71,40	71,80	72,30	71,90	0,34	1,00	70,90	72,90	71,90	63,70	8,20	0,72	1,00	70,18	
1000	81,50	80,90	79,90	80,60	80,60	80,73	0,58	1,00	79,73	81,73	80,73	63,20	17,53	0,00	1,00	79,73	
2000	66,10	66,30	66,10			66,17	0,12	1,00	65,17	67,17	66,17	63,50	2,67	3,45	1,00	61,72	

Punto 4	1	2	3	4	5												
125	67,60	68,40	68,40	68,40	68,40	68,24	0,36	1,00	67,24	69,24	68,24	63,70	4,54	1,90	1,00	65,34	
250	70,60	71,80	72,00	71,50	71,20	71,42	0,55	1,00	70,42	72,42	71,42	63,50	7,92	0,78	1,00	69,64	
500	73,20	73,90	73,50	73,30	73,50	73,48	0,27	1,00	72,48	74,48	73,48	63,70	9,78	0,48	1,00	72,00	
1000	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	0,00	1,00	75,80	77,80	76,80	63,20	13,60	0,18	1,00	75,62	
2000	67,40	67,70	68,70			67,93	0,68	1,00	66,93	68,93	67,93	63,50	4,43	1,80	1,00	65,13	

Punto 5	1	2	3	4	5	M.A.	D.T.	Error	L.I.	L.S.	Prom.1	R.F.	Dif.	C. 1	C. 2	Prom.2
125	66,20	66,20	65,90	65,90	66,00	66,04	0,15	1,00	65,04	67,04	66,04	63,70	2,34	3,90	1,00	61,14
250	68,40	65,40	66,80	65,70	66,00	66,46	1,20	1,30	65,16	67,76	65,98	63,50	2,47	3,60	1,00	61,38
500	72,00	71,90	72,20	72,40	72,10	72,12	0,19	1,00	71,12	73,12	72,12	63,70	8,42	0,69	1,00	70,43
1000	70,00	71,30	69,60	70,00	70,00	70,18	0,65	1,00	69,18	71,18	70,18	63,20	6,98	1,00	1,00	68,18
2000	71,40	71,50	72,60			71,83	0,67	1,00	70,83	72,83	72,14	63,50	8,64	0,62	1,00	70,52

Punto 6	1	2	3	4	5												
125	68,30	67,60	67,60	67,60	67,50	67,72	0,33	1,00	66,72	68,72	67,72	63,70	4,02	2,60	1,00	64,12	
250	71,80	72,00	72,50	72,40	73,00	72,34	0,47	1,00	71,34	73,34	72,34	63,50	8,84	0,61	1,00	70,73	
500	70,80	72,70	72,30	72,30	72,10	72,04	0,73	1,00	71,04	73,04	72,04	63,70	8,34	0,71	1,00	70,33	
1000	68,90	66,00	66,70	67,50	67,50	67,32	1,08	1,00	66,32	68,32	67,23	63,20	4,03	2,60	1,00	63,63	
2000	67,20	66,20	65,40			66,27	0,90	1,00	65,27	67,27	65,80	63,50	2,30	4,40	1,00	60,40	

Punto 7	1	2	3	4	5												
125	65,20	65,30	65,30	65,70	65,70	65,44	0,24	1,00	64,44	66,44	65,44	63,70	1,74	4,80	1,00	59,64	
250	72,50	72,50	72,40	72,40	72,40	72,44	0,05	1,00	71,44	73,44	72,44	63,50	8,94	0,60	1,00	70,84	
500	75,50	76,50	76,40	76,60	76,50	76,30	0,45	1,00	75,30	77,30	76,30	63,70	12,60	0,24	1,00	75,06	
1000	67,50	67,00	66,00	65,50	65,10	66,22	1,01	1,00	65,22	67,22	66,17	63,20	2,97	3,30	1,00	61,87	
2000	65,00	64,70	67,00			65,57	1,25	1,30	64,27	66,87	66,00	63,50	2,50	3,00	1,00	62,00	

Punto 8	1	2	3	4	5												
125	67,50	67,80	67,70	67,70	67,70	67,68	0,11	1,00	66,68	68,68	67,68	63,70	3,98	2,70	1,00	63,98	
250	67,30	67,20	68,20	67,90	68,10	67,74	0,46	1,00	66,74	68,74	67,74	63,50	4,24	2,20	1,00	64,54	
500	67,30	67,50	68,20	67,60	67,80	67,68	0,34	1,00	66,68	68,68	67,68	63,70	3,98	2,70	1,00	63,98	
1000	70,70	71,80	71,80	71,60	72,20	71,62	0,56	1,00	70,62	72,62	71,62	63,20	8,42	0,71	1,00	69,91	
2000	70,00	72,90	72,90			71,93	1,67	1,40	70,53	73,33	72,32	63,50	8,82	0,60	1,00	70,72	

Tabla 20 (Página anterior). Determinación de los niveles sonoros promedios para cada punto en cada frecuencia probada con las correcciones del análisis 3 de la anterior fase y generando como resultado el valor del nivel sonoro promedio para cada punto en cada frecuencia probada (Prom. 2).

f (Hz)	L₁	L₂	L₁-L₂
125	81,24	63,49	17,75
250	86,54	67,61	18,93
500	97,21	70,28	26,94
1000	104,1	70,11	34,01
2000	98,4	65,87	32,53

Tabla 21 Diferencia de los valores globales del nivel sonoro dentro y fuera del recinto. L₁ – L₂ se define como la reducción del ruido.

La diferencia de niveles sonoros internos y externos (columna L₁ – L₂) mostrada en la tabla 20 es considerada la reducción del ruido experimental hallada mediante la implementación de un sistema no convencional ajeno a lo determinado en las normas correspondientes. Este resultado por si solo no comprueba ni desecha la efectividad del método, es necesario realizar una comparación con algún conjunto de valores que nos den un indicio de dicha característica.

Anteriormente se referencia que dentro del término matemático para hallar la pérdida por transmisión sonora bajo condiciones difusas y sin transmisión por flancos de un elemento, venía implícito la reducción del ruido, por lo tanto conociendo el valor de la pérdida por transmisión, el área de la superficie del elemento y el área y la absorción de cada superficie interior, podríamos encontrar la reducción del ruido del salón aportada por el elemento.

Las condiciones que este concepto físico presupone (muro homogéneo acústica y constructivamente³⁵ en toda la división), no se encuentran representadas realmente en las características de la división, sin embargo existen alternativas para tratar de adaptarlas a ella. Una de ellas consiste en hallar las características acústicas de cada

³⁵ Remitirse a la fase de experimentación II donde se explican los determinantes para la correcta aplicación de la ecuación de la reducción del ruido.

material y de acuerdo con el área dispuesta de cada uno de ellos con respecto al área total de la división, calcular un coeficiente único de transmisión propio de la división en general. Otro camino supondría la generalización del muro bajo el coeficiente de transmisión conocido de la división, en otras palabras suponer que toda el área de la división posee el coeficiente de transmisión del muro estudiado y dejaríamos aparte las peculiaridades de los otros materiales.

Para simplificar cálculos y debido a que este estudio representa solo un primer acercamiento al dominio del sonido y su interacción con estructuras convencionales y sumado a la ausencia de datos “reales” propios de los materiales que se estudiaron en el sitio, se optó por recurrir a la segunda alternativa, y suponer que la división total posee el coeficiente del muro en ladrillo que se estudió, por lo cual el área radiada que se utilizaría en los cálculos sería el área total de la división y la pérdida por transmisión sonora sería la pérdida característica del muro en ladrillo. Este es el principio que rigió el posterior curso analítico.

Ahora, en lo referente a las condiciones internas, el precepto físico que rige la cuantificación de la reducción del ruido no hace referencia a ninguna especificación teórica dentro de la habitación o recinto dispuesto para el análisis, mas que la evaluación de las áreas y sus correspondientes coeficientes de absorción, por lo cual dentro del aula se trató de realizar el trabajo tal y como son las condiciones presentes en la realidad. Las operaciones se trabajaron con la ecuación .

$$L_{p1} - L_{p2} = TL - 10 \log S/A \quad (2.5)$$

Donde $L_{p1} - L_{p2}$ = reducción del ruido teórica

S = el área de la pared divisoria

A = absorción total en el aula.

Cada término de la ecuación sonora debe tener una coherencia con respecto a su origen y su establecimiento dentro de la misma. Si el objetivo es lograr determinar un valor

teórico de la reducción del ruido, es menester escoger apropiadamente cada término con el fin de acercar los resultados a una confiabilidad mayor.

La fase anterior nos arrojó cuatro resultados de la pérdida por transmisión sonora, uno de ellos, el de mayor confianza correspondiente a los procesos normativos y los elementos internos del recinto, que no están constituidos por materiales que han sido patronados internacionalmente, poseen coeficientes de absorción específicos, lo cual evidenciaba que existían diversos valores para cada término.

La escogencia adecuada del valor definitivo para cada término se decidió por la cantidad de datos que se pudieron disponer mediante análisis bibliográficos. En el caso de la pérdida por transmisión sonora se escogió el término que corresponde a la aplicación normativa (ver tabla 15). Para determinar los coeficientes de absorción el proceso se describe a continuación.

La absorción total del aula está en función de todas las superficies y todos los materiales, incluidos el mobiliario y el aire, presentes en ella y la observación que se hizo del sitio puso de manifiesto que medir todas las áreas superficiales y caracterizarlas en función de su coeficiente de absorción carecía de sentido, debido a que no se posee información concreta acerca de esta característica en algunos materiales y realizar ello significaba implementar dentro de la investigación, ensayos para determinarlos, cuestión que desbordaba en nuestro presupuesto temporal, monetario y académico.

$$A_{total} = A_{superficie} + A_{aire} + A_{mobiliario} \quad (2.6)$$

Donde: $A_{superficie}$ = Suma de la absorción de todas las superficies internas del salón.

$$A_{aire} = 4mV^{36}$$

$A_{mobiliario}$ = Suma de la absorción de todo el mobiliario

³⁶ La absorción aportada por el aire tiene incidencia sobre frecuencias iguales o mayores a 2000 Hz., por lo cual este valor no fue utilizado en los cálculos, ya que el valor máximo aportado por el aire es de 2,23 sabines métricos y no es representativo para cambios evidentes en el valor final de la reducción del ruido.

Por todo lo anterior, optamos por estimar cada superficie en función de una aproximación espacial inferida del área propia con respecto al área real, de la forma más exacta posible, a partir de un levantamiento en plano de las distancias tomadas *in situ*. Se determinaron 8 elementos fijos cuya área superficial incide en la reducción del ruido (ver tabla 21), y de estos se descartó uno (cortinas) debido a que se consideraron abiertas, para simular condiciones mas adversas, condiciones que también se presentaron en la experimentación. Cabe anotar que se tuvo en cuenta la carencia o exceso de material en algunos sitios (p. ej.: ventanería, techo, etc.) para calcular las respectivas áreas.

Superficie	Área
Pañete, yeso o cal, terminado liso sobre tableta o ladrillo	80,00
Cristal ordinario de ventana	10,28
Tablero acrílico	5,82
Piso en baldosa	72,00
Cielo raso en Icopor*	13,68
Cielo raso en cartón	54,72
Puerta y marco en madera	1,95
Mobiliario	22,0

Tabla 22 Superficies escogidas del salón con sus respectivas áreas para cálculo del coeficiente de absorción. *El área del cielo raso medida fue de aproximadamente 68,4 mts. , de los cuales el 20% correspondía a paneles de icopor y el restante 80% a paneles de cartón.

Además de los elementos fijos, dentro del salón permanecen constantes algunos dispositivos utilizados como mobiliario. Este conjunto lo constituyen mesas y sillas, con la mayoría de sus superficies en madera. Este mobiliario afecta el comportamiento de la onda sonora de acuerdo con su ubicación dentro del aula. Un gran número de estas mesas tiene área superficial cercana al metro cuadrado ($1,0 \text{ m}^2$) y su forma permite ubicarlas una tras otra conformando una gran superficie que cubriría a una altura de un metro aproximadamente un alto porcentaje del área del salón; en esta posición las mesas anularían el efecto producido por la absorción del piso del aula bajo ellas. Por esta razón fue necesario elegir una ubicación estándar del mobiliario para continuar con el orden

analítico. Se eligió ubicar (virtualmente³⁷) las mesas y sus respectivas sillas en filas, sumando en total 22 parejas de objetos, suponiéndolos todos con las mismas características -1,00 m² de área superficial por pareja- y estableciendo que toda el área del piso tiene las mismas posibilidades de recibir la onda sonora, es decir el coeficiente de absorción es el mismo para una superficie de piso en baldosa igual a la totalidad del área real del salón (aproximadamente 72,0 mts).

Después de definir cada elemento interno el siguiente paso fue determinar sus coeficientes de absorción. Estos se establecieron a partir de tablas que han patronado cada material constructivo con su correspondiente coeficiente y en el caso de materiales que no se encontraron en estas tablas se fijó un coeficiente de un material similar (ver tabla).

Superficie	Coeficiente de Absorción				
	125	250	500	1000	2000
Pañete, yeso o cal, terminado liso sobre tableta o ladrillo	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04
Cristal ordinario de ventana	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07
Tablero acrílico*	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07
Piso en baldosa	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02
Cielo raso en Icopor**	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1
Cielo raso en cartón**	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1
Puerta y marco en madera	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06
Mobiliario	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1

Tabla 23 Coeficientes de absorción para las frecuencias probadas de cada material integrante del salón. *Para el Tablero acrílico se utilizaron los coeficientes del vidrio. **Para el cielo raso en Icopor y en cartón se utilizaron los coeficientes de un panel de Triples de 3/8" de espesor.

Posteriormente se realizaron los cálculos para hallar cada absorción particular por superficie en cada frecuencia y seguidamente se sumaron para encontrar la absorción

³⁷ Se hace referencia al término virtual en el sentido en que esta ubicación del mobiliario se supone para el proceso de cálculo en la determinación del coeficiente de absorción, cuyo valor sería único para tal disposición espacial.

total. La absorción por mobiliario se halló de igual forma. Por ultimo se sumaron las absorciones por mobiliario, por superficie y por el aire (valor=0).

Superficie	Área	A1(Sabines Métricos)				
		125	250	500	1000	2000
Pañete, yeso o cal, terminado liso sobre tableta o ladrillo	80,00	1,04	1,2	1,60	2,40	3,20
Cristal ordinario de ventana	10,28	3,598	2,57	1,85	1,23	0,72
Tablero acrílico	5,82	2,037	1,455	1,05	0,70	0,41
Piso en baldosa	72,00	0,72	0,72	1,08	1,44	1,44
Cielo raso en Icopor	13,68	3,83	3,01	2,33	1,23	1,37
Cielo raso en cartón	54,72	15,32	12,04	9,30	4,92	5,47
Puerta y marco en madera	1,95	0,293	0,215	0,20	0,14	0,12
Mobiliario	22	6,16	4,84	3,74	1,98	2,20

Tabla 24 Absorción para los elementos compositivos del salón y el mobiliario en cada frecuencia probada.

Encontrados los valores de absorción se realizó la determinación de la reducción del ruido teórica, utilizando la ecuación de la reducción del ruido y los valores de pérdida por transmisión sonora para una pared de ladrillo macizo de 140 mm de espesor.

F (Hz.)	TL	S	A	A1	A2	A3	S/A	N.R. 2	N.R. 1	Dif.
125	38	42,50	33,00	26,84	6,16	0,00	1,29	36,9	17,75	19,15
250	30	42,50	26,05	21,21	4,84	0,00	1,63	27,87	18,93	8,94
500	38	42,50	21,14	17,40	3,74	0,00	2,01	34,97	26,94	8,03
1000	46	42,50	14,04	12,06	1,98	0,00	3,03	41,19	34,01	7,18
2000	54	42,50	14,92	12,72	2,20	0,00	2,85	49,45	32,53	16,93

Tabla 25 Valores de la reducción de ruido real (método no convencional) y teórica, y su diferencia. La columna TL se refiere a la pérdida por transmisión sonora de una pared de ladrillo de 140 mm de espesor, S es el área supuesta total de la división, A es absorción total del salón (A1+A2+A3), A1 es la absorción de superficie, A2 es la absorción del mobiliario y A3 es la absorción del aire. N.R. 2 es la reducción del ruido teórica y N.R. 1 es la reducción del ruido experimental. La columna Dif. Es la diferencia de N.R.1 – N.R.2.

El anterior planteamiento nos arrojó dos conjuntos de datos, la reducción del ruido teórica y la experimental en las frecuencias de banda de octava elegidas y a partir de ellas se despliega el consabido análisis del grado de efectividad presente en el método. A simple vista encontramos un comportamiento estable en las frecuencias medias (250-1000 Hz) y grandes márgenes diferenciales en las frecuencias pico (125 y 2000 Hz) y que los resultados siguen trayectorias de curva similares a las ofrecidas por la pérdida por transmisión sonora teórica y real³⁸.

Gracias a un detallado análisis de los resultados obtenidos se pudieron establecer los lineamientos propios del proceder sonoro en el escenario estudiado tanto para la pérdida por transmisión sonora, como para la reducción del ruido y su cercanía o lejanía a los dominios propios de la teoría acústica a través de los seguimientos analíticos propios del sitio de pruebas en función de los aportes realizados por sus elementos constitutivos y que son explicadas en las conclusiones del presente trabajo.

³⁸ Para los análisis de datos se tomarán como referencia de pérdida por transmisión sonora los resultados del método 3 de la anterior fase.

PTS 3	27,7	37,5	42,8	45,7
--------------	-------------	-------------	-------------	-------------

CONCLUSIONES

A partir de lo determinado analíticamente en todo el proceso – experimental y teórico- se desprenden muchos interrogantes y afirmaciones que califican la veracidad de lo propuesto en los albores del proyecto. Se partió de la idea de establecer el nivel de efectividad que representa utilizar un método no convencional para medir ciertos patrones sonoros en un medio específico, para, en función de los resultados cuantitativos y de las condiciones generadas, concluir acerca de el.

La efectividad del método viene dispuesta por condicionamientos de los que ella misma, tácitamente, hace alarde y esta expresada en que tan grandes son las diferencias entre los valores encontrados por el método experimental y su contraparte. Si poseemos una pareja de datos, uno de ellos real (o por lo menos comprobado científicamente) y otro experimental (lo propuesto), es necesario encontrar los puntos de referencia que atan las dos alternativas a postulados comprobables y que, de acuerdo con la distancia teórica a estos postulados, definen en cierto modo su actuar positivista.

Un claro índice de efectividad se sustrajo del soporte bibliográfico basándose en lo propuesto por diferentes autores para calificar o descalificar mediciones sonoras. En la tabla se evidencian las relaciones entre un número de mediciones, el intervalo de confianza y la desviación típica para una misma población estadística. Otra distinción se utiliza para definir un nivel sonoro respecto de otro que se escucha simultáneamente; para la primera situación, el intervalo de confianza máximo se ubica en ± 5 dB para un mínimo de dos mediciones y desviación estándar de un decibel (1dB), hasta un límite de desviación estándar de 12 dB para aproximadamente 20 mediciones.

En el segundo apartado cuando existen simultáneamente dos sonidos o ruidos, en este caso ruido de fondo y otro que provea una fuente específica, si la diferencia entre los dos es de 10dB o mas, uno de los dos enmascara al otro, es decir, que la “distancia”

sonora entre uno y otro que permite clarificar su reconocimiento se evidencia a partir de dicho valor. Si ocurre lo contrario, es necesario realizar una corrección, ya que uno de los sonidos está influenciado por el otro y el valor del nivel sonoro no es propio del mayor de ellos (ver capítulo 3, fase de experimentación II).

Con base en estas dos situaciones se eligió una diferencia permitida para su uso concluyente. Se optó por utilizar un rango entre 5 y 10 dB para la comparación entre los valores que arrojó el desarrollo del trabajo. Si de la diferencia es menor de 5dB entre un par de valores comparables se deduce como óptimo el método utilizado para determinar uno de esos valores, es decir que su eficacia resulta al menos comprobable para dicho caso en particular, mientras que con una diferencia mayor de 10 dB puede desecharse algún valor dependiendo de sus peculiaridades. Si la diferencia se encuentra entre el rango entre 5 y 10 dB se puede contemplar una correlación entre las parejas de datos, o talvez sugerir pequeñas modificaciones al método que en nuevos ensayos nos pueden arrojar satisfactorias conclusiones, expresado en términos de efectividad esto significa que variando un poco las condiciones de la experimentación se puedan alcanzar los resultados esperados.

En nuestra labor investigativa se trabajó con dos proposiciones similares a cerca de igual número de conceptos – pérdida por transmisión sonora y reducción del ruido-. La primera de ellas ostentaba la comprobación entre varios valores experimentales y otro tanto normativos y teóricos para escoger del primer grupo el valor que mas cercano estuviese del mas real entre el normativo y el teórico. En segunda instancia se pretendía comparar el valor experimental con su contraparte teórico deducido a partir de un comportamiento sonoro supuesto restringido por los postulados del caso.

El primer resultado concluyente hace referencia a lo que se encontró en la fase de prueba, la cual nos arrojó datos sobre como se comportaba la onda sobre la superficie del muro en estudio. En ella se determinaron algunas afirmaciones que exponemos a continuación:

Si bien se partió de un postulado que consideraba las superficies del frente de onda y del muro “totalmente planas”, los resultados encontrados comprobaron que la onda no alcanza a poseer esta característica en su frente, debido a que en la distancia entre la pared y la fuente la onda no posee una curvatura lo suficientemente grande para que dicho patrón se presente. Esto se puede verificar claramente con los resultados medidos, pues se notan diferencias considerables, mas no elevadas, entre datos correspondientes a dos puntos consecutivos, sea vertical u horizontalmente.

Una clara conclusión a la que podemos hacer referencia, hace alusión al valor asignado a cada porción de área con base en el valor determinado en un punto de ella; se realizó una calificación estimativa de cada nivel sonoro en un área supuesta alrededor de cada punto tomado, e indistintamente se delimitó dicha área en función de lo que en teoría afectaba cada porción, es decir en los extremos se ajustó un área mas pequeña por la posible incidencia de ondas estacionarias gracias a la morfología del muro, y en el centro se estimaron áreas grandes longitudinales por la continuidad superficial. Los resultados aquí obtenidos poseen una variabilidad discreta en las frecuencia escogida característica de las frecuencias bajas (250 Hz), pero se elevan en la frecuencia de los 1000 Hz, por las razones aludidas a las mismas ondas estacionarias y los elementos que la provocan, a la forma del parlante y su consiguiente onda emisora y a la interferencia del observador del dato en el sonómetro, así como la disposición del aparato que muchas veces pudo no coincidir en forma total con la dirección de la onda. Como conclusión final de este apartado y en forma de sugerencia, para poder obtener un mapa totalmente confiable y que indique los niveles sonoros propios de un elemento, es necesario realizar mediciones en intervalos espaciales mas cortos y evitando la interferencia de un observador de datos, es decir, sistematizar el procedimiento de forma que el sonómetro indique los datos en un lugar diferente al de la medición; esto se puede lograr incorporando un micrófono externo de poca área al sistema del sonómetro.

A pesar de los contratiempos y de la informalidad del procedimiento representada en los equipos disponibles que se utilizaron, muy distantes de los necesarios para emitir el sonido bajo condiciones directas, y en la condición de fase de prueba, donde no se tomaron las medidas necesarias para evitar comportamientos inoportunos (reflexiones

por cercanía de superficies poco absorbentes como ventanas -cerradas al momento de realizar la prueba- , suelo, etc.), los resultados no se encuentran muy dispersos y en algunos casos muy concretos poseen diferencias muy pequeñas (menos de 10 dB). Se encontró que las diferencias aumentaban en la dirección horizontal mas que en la vertical. Este hecho se aduce a que el parlante poseía una forma alargada en el sentido de su uso (mayor longitud vertical) y lograba que la onda emitida conservara dichas características, así que al propagarse el frente de onda guardaba las proporciones y llegaba al muro con esa forma, antes de reflejarse y cambiar su trayectoria. En ese sentido, las mayores reflexiones se presentan en las esquinas y la parte central del muro estaba lo suficientemente alejada de estas para desarrollar tantas reflexiones como para variar la presión sonora en un alto grado.

Como una sugerencia final, acogida posteriormente en la fase II del capítulo 3, al momento de realizar pruebas de orden acústico que involucren variables de alta incidencia en el comportamiento de la onda sonora, vale la pena tomar las medidas del caso, para lograr que la onda estabilice su forma de propagación y se logren resultados con mayores niveles de confianza. Estas medidas se refieren al acondicionamiento de las superficies con las que la onda posiblemente interactúe. Con estas medidas se podría lograr mayor homogeneidad sobre la superficie del muro en el sentido longitudinal, vertical u horizontal, que mas sensible sea a las ondas reflexivas.

La fase de experimentación I nos arrojó significativas conclusiones a partir de los resultados obtenidos, que se explican a continuación. Como resultado general podemos afirmar que la aplicación de un método no convencional para determinar la pérdida por transmisión del sonido posee matices de efectividad bastante altos. El método aplicado nos propició distintas opciones para modelar los datos con cuatro posibilidades y la parte teórica y normativo nos dio la opción de generar tres tipos distintos de valor de pérdida por transmisión sonora para un mismo caso.

En el análisis experimental se trabajó con los datos encontrados *in situ*, maniobrandolos de forma tal que se logran los resultados más confiables. Se trabajó con límites en función de su nivel de error, con correcciones, desestimando los valores pico, etc., para

llegar a los valores mas acertados; en la contraparte teórica y experimental se maniobró la ley de masas, neta y corregida y lo ofrecido por ensayos normativos a materiales similares.

El objetivo era elegir del primer grupo el valor que más se acercara al elegido en el segundo grupo. El valor teórico o normativo que se eligió, por su confiabilidad real representada en que sus condiciones se comprobaron con un método aprobado, fue el valor normativo (PTS teórico 3). Este valor se estableció como el parámetro comparativo para elegir un valor del primer grupo y de esta forma se determinó el valor correspondiente al PTS 4 (pérdida por transmisión sonora experimental encontrada mediante el cuarto tipo de análisis).

Al comparar estos dos grupos de valores se encontró entonces que el método poseía una efectividad bastante alta, basando esta respuesta, en lo que se definió al principio de las conclusiones como nivel de efectividad, en función de las diferencias entre dos pares de valores, para este caso entre dos conjuntos de pares de valores.

	Aislamiento Acústico PTS			
	250	500	1000	2000
PTS 3	27,7	37,5	42,8	45,7
PTS Norma	30,0	38,0	46,0	54,0
	2,3	0,5	3,2	8,3

Tabla 26 Diferencias entre los valores de la pérdida por transmisión sonora experimental elegida (PTS 3) y normativa (PTS Norma). El valor en la celda con color verde indicia los establecidos en el rango entre 5,0 y 10,0 dB.

Como se observa en la tabla 26, todos los valores correspondientes a las diferencias entre los datos proporcionados por los métodos están por debajo del máximo límite calificativo de la eficacia (10 dB) y solo un valor (2000 Hz-8,3 dB) se encuentra por encima de los 5,0 dB. Lo anterior nos confirma que utilizar un método no convencional, pero que en cierta medida se rige por la teoría sonora, las condiciones que se utilizan en las normas internacionales y tomando una cantidad considerable de datos resulta efectivo y muy cercano a lo que nos ofrecería la instalación de un laboratorio de medidas, tal y como lo exigen las normas aquí referenciadas, principalmente la norma

ASTM E 90, para realizar mediciones en paredes homogéneas y rígidas con equipamiento muy básico. De igual forma resulta conveniente insistir en que es necesario corregir en el papel los pequeños “errores” que se pueden presentar durante el ensayo, puesto que como lo muestran los resultados, si se tiene cuidado en seleccionar los datos convenientes (p.ej.: establecer límites a partir de los niveles de error) y en realizar la mayor cantidad de correcciones de que se disponga, mayor será el nivel de efectividad que se presente al momento de realizar las comparaciones pertinentes con los datos teóricos o normativos.

Si bien esta eficacia nos determina grandes resultados, no podemos garantizar que en evaluaciones a todo tipo de barreras y en todo tipo de materiales se encontrarán los resultados aquí expuestos, ya que inciden muchos factores externos propios del sitio de pruebas y de los materiales constitutivos del elemento, sin embargo ahondando en las minucias propias de cada material y comportamiento ante la incidencia de la onda sonora, es posible que se logren diferencias pequeñas, o expresado en otros términos datos válidos para la realización de evaluaciones acústicas.

Este primer acercamiento nos permite afirmar que previo al momento de realizar algún tipo de evaluación acústica a un recinto en particular, no está de más y tal vez resulte muy efectivo, establecer procedimientos alternos o no convencionales para hallar algunos patrones acústicos que no se encuentren referenciados o que las características de los materiales que se van a estudiar no sean representativas de los que sí se encuentren referenciados.

Aparte de lo concluido anteriormente, estos ensayos permitieron establecer otros comportamientos de figuras teóricas; en este sentido podemos afirmar que la ley de masas difiere en gran medida de lo que se presenta realmente en elementos homogéneos y rígidos, y corresponde como se indicó en la parte propositiva que su función se desenvuelve en particiones ideales, más que en especímenes bajo condiciones experimentales o normativas.

Como recomendación final se podría decir que es mejor realizar el ensayo en todas las frecuencias de banda de octava para tener una mayor percepción del fenómeno en la totalidad del espectro frecuencial bajo estas condiciones.

Para los datos resultantes de la fase de experimentación II se encontraron conclusiones similares a las de la fase inmediatamente anterior. Como lo evidencia la tabla 27 se encontraron en más del 50 % de los casos valores menores del límite superior establecido en 10dB, pero con la excepción de que el resto de datos están muy por encima de dicho límite.

F (Hz)	PTS	N.R. 2	N.R. 1	Dif.
125	38	36,9	17,75	19,15
250	30	27,87	18,93	8,94
500	38	34,97	26,94	8,03
1000	46	41,19	34,01	7,18
2000	54	49,45	32,53	16,93

Tabla 27 Valores de la pérdida por transmisión sonora teórica (PTS), la reducción del ruido experimental (N.R. 1), teórica (N.R. 2), la y la diferencia entre ellos (Dif.). Los valores en verde corresponden a los que se encuentran por debajo del límite superior (10 dB) de efectividad y los valores en aguamarina a los que se encuentran por encima de dicho límite.

Este hecho logra limitar la efectividad del método, además de que las diferencias son mucho mayores que en la fase anterior. Por esto se deben estudiar cuales serían las posibles razones que hacen menor la efectividad de los resultados de la reducción del ruido experimental con relación a los presentados en la pérdida por transmisión sonora, ambos por métodos no convencionales.

Entre estas razones se encontraron las mencionadas a continuación. La forma como se emitió la onda sonora carece de las características propias de un campo sonoro difuso, campo sonoro necesario para hallar la reducción del ruido y la pérdida por transmisión sonora, ya que el parlante se ubicó aproximadamente a una distancia de 2,00 mts y como se comprobó en la fase de prueba, su modo de emisión presenta características del campo directo y la morfología del parlante no distribuye de forma completamente homogénea en el nivel sonoro en el muro; sin embargo se tomaron las medidas del caso

para evitar la alta incidencia de las ondas reflexivas que generan a su vez variabilidad en el nivel sonoro, principalmente en las partes extremas verticales del muro.

Además de lo anterior cabe anotar que en la composición teórica para hallar la reducción del ruido se supuso una división continua con el mismo coeficiente de transmisión, en otras palabras de un mismo y único material, conformando un volumen homogéneo, mas no una división compuesta, situación que sucede en la realidad.

Otra razón que pudo acrecentar las diferencias pudo ser la situación de haber radiado únicamente una porción de la división, cuando debió haber sido toda, y que el sonido tuvo otros medios de transmisión posibles además del muro en consideración, pues como la estructura se encontraba intercomunicada por sus partes compositivas con los muros de otros flancos, el sonido pudo haberse transmitido por ellos, ignorando un principio del método normalizado, que restringe la transmisión sólo a la que aporta la pared que se estudia.

En cuanto a la incertidumbre matemática al momento de calcular la reducción del ruido teórica es importante recalcar que los coeficientes de absorción de algunos materiales se estimaron en función de lo similar que fuesen con otro material del que se dispusieran datos exactos; en el proceso se sugirió que para mejores resultados es necesario realizar los correspondientes ensayos que permitan hallar los coeficientes específicos de cada material o por lo menos tener referenciado de forma “verdadera” su coeficiente de fuentes confiables.

Concluyendo acerca de la totalidad del proceso podemos decir que, en forma general y en la calidad de acercamiento práctico inicial, se obtuvieron resultados bastante confiables con altos grados o niveles de efectividad, representados en que la mayoría de los resultados de las diferencias en las dos características sonoras se encuentran por debajo del límite superior de los 10 dB, razón por la cual podríamos recomendar el uso de este tipo de métodos para estudiar casos concretos de los que no se dispongan datos, pero como paso siguiente a lo desglosado en la totalidad de la labor investigativa, es necesario realizar distintos ensayos a otra cantidad de materiales para intentar hallar

correlaciones entre las variables prácticas o experimentales y las variables normativas o teóricas. No obstante las buenas valoraciones del método no convencional, surgieron en el proceso buenos resultados provenientes de los análisis teóricos en cuanto a la pérdida por transmisión se refiere, siempre y cuando se utilicen los desarrollos correctos con todas sus disposiciones.

Después de este análisis podemos decir entonces que el objetivo planteado de comprobar la efectividad de un método no convencional para hallar la pérdida por transmisión sonora y la reducción del ruido fue cumplido satisfactoriamente pues evidentemente si existía gran cercanía entre los resultados obtenidos por este método y los normativos o teóricos lo que se vio representado en los altos niveles de efectividad comprobables cuantitativamente.

BIBLIOGRAFÍA

CARRION ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. México: Alfa Omega Editor, 2001. 429 p.

HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. España: McGrawHill Company, 1995. 2v.

MARTING UTERMIL, Betty. Guía para la elaboración y presentación de trabajos de investigación. 4 ed. Bogotá: Ediciones Jurídicas Gustavo Ibáñez, 2004. 174 p.

MEDINA VILLEGAS, Claudia Janeth. Fundamentos Del sonido Digital. Cali: Universidad del Valle, 2002.p. 1-16.

OWENS-CORNING-FIBERGLASS (Colombia), El Uso de Materiales Acústicos en La arquitectura. s.l.:s.n., 1991.42 p.

RECUERO LOPEZ, Manuel. Ingeniería Acústica. Madrid: Paraninfo, 2000. Cd Multimedia.

ARAU, Higini. ABC de la acústica arquitectónica. España: Ediciones CEAC, 1999.

PARKER, Harry y AMBROSE, James. Ingeniería simplificada: para arquitectos y constructores. 2 ed. México: Noriega Editores, Editorial Limusa, 1995. 635 p.