

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo realizado para obtener el título ingeniero de sonido.
2. **TITULO:** Análisis de ruido aéreo de fachada, en sistemas de construcción contech, outinord, aporticado y mampostería estructural.
3. **AUTOR:** Juan Camilo Gutiérrez Ruiz, Gary Toro Toro.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C.
5. **FECHA:** junio 2012.
6. **PALABRAS CLAVE:** Ruido aéreo, índice de reducción sonora, aislamiento acústico, acústica, sistemas de construcción.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** Este proyecto fue realizado por estudiantes de la carrera de ingeniería de sonido de la universidad San Buenaventura sede Bogotá, con el fin de realizar un análisis comparativo, en cuanto a aislamiento acústico de ruido por vía aérea, de los sistemas de construcción más utilizados Colombia.
8. **LINEA DE INVESTIGACIÓN:** Este trabajo se desarrolla en el marco de la línea institucional de la facultad ingeniería, "tecnologías actuales y sociedad".
9. **FUENTES CONSULTADAS:**

AGUILÓ, Alonso, M., et alt. "Prefabricación: Teoría y práctica". Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1974.CARRION ISBERT, Antoni. "Diseño acústico de espacios arquitectónicos". Alfaomega, Barcelona, 2001.CYRIL, Harris. "Manual de medidas acústicas y control de ruido Vol. 1". McGraw Hill, 1998.EVEREST, Alton. "Master handbook of acoustics". McGraw Hill, Cuarta edición, 2001. ISO 140-5:1998 Acoustics – "Measurement of sound insulation in buildings and of building elements" -- Part 5: "Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades".ISO 354:1985_Acoustics –"Measurement of sound absorption in a reverberation room".RANDALL F, Barron. "Industrial Noise Control and Acoustics". Marcel Dekker, Inc, Estados Unidos, 2003.RECUERO LOPEZ, Manuel. "Acústica arquitectónica aplicada". Paraninfo, Segunda edición.
10. **CONTENIDOS:** El trabajo se divide en tres secciones generales que principalmente son: objetivo general, Analizar, determinar y comparar los problemas de confort acústico y sus causas en los sistemas de construcción. Objetivos específicos, Determinar los lugares a estudiar y las normas internacionales de mediciones acústicas que se usarán, para este caso: transmisión de ruido por vía aérea. Realizar determinada cantidad de mediciones acústicas en las construcciones, de acuerdo a las normas escogidas. Establecer el valor de los parámetros acústicos objeto de la medición. Evaluar los resultados mediante métodos estadísticos. Analizar y determinar los problemas de aislamiento acústico. Para el cumplimiento de los objetivos se implemento un desarrollo ingenieril, siguiendo los siguientes pasos: ubicación de los lugares de medición, medición de los recintos según la norma internacional escogida, desarrollo de software para realización de los cálculos requeridos, análisis estadístico de los resultados, comparación de los resultados con estándares internacionales.
11. **METODOLOGÍA:** El trabajo se desarrollo en tres etapas, las cuales son: investigación, desarrollo ingenieril y análisis de resultados, con el cual se logró determinar qué sistema de construcción, de los que se usan en Colombia, presenta el mejor aislamiento frente al ruido aéreo.
12. **CONCLUSIONES:** De los resultados y análisis de las mediciones se puede concluir que a pesar de las similitudes, el sistema aporticado presenta el mejor aislamiento a ruido aéreo en la fachada. El sistema de construcción aporticado, a pesar de que se tarda más tiempo en llevar a cabo una construcción, presenta el mejor aislamiento a ruido aéreo en la fachada debido a que se combinan materiales como ladrillo y columnas de concreto.

ANÁLISIS DE RUIDO AÉREO DE FACHADA, EN SISTEMAS DE
CONSTRUCCIÓN CONTECH, OUTINORD, APORTICADO Y MAMPOSTERÍA
ESTRUCTURAL

JUAN CAMILO GUTIÉRREZ RUÍZ

GARY TORO TORO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ D.C

2012

ANÁLISIS DE RUIDO AÉREO DE FACHADA, EN SISTEMAS DE
CONSTRUCCIÓN CONTECH, OUTINORD, APORTICADO Y MAMPOSTERÍA
ESTRUCTURAL

JUAN CAMILO GUTIÉRREZ RUÍZ

GARY TORO TORO

ASESOR:

ING. DARÍO PÁEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

INGENIERO DE SONIDO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ D.C

2012

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá 4/06/2012

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

MARCELO HERRERA, ingeniero electrónico, por su orientación y constante colaboración en el desarrollo del trabajo.

GUSTAVO VENEGAS, arquitecto, por su colaboración en la ubicación de los lugares de medición.

BERTA FEFERBAUM, arquitecta, por su amabilidad y disponibilidad durante el proceso de mediciones acústicas.

A2, A Cuadrado Arquitectos, empresa de arquitectos, la cual facilitó el ingreso a los lugares de medición establecidos para este trabajo.

JAVIER SAMACÁ, persona encargada del préstamo de materiales en el laboratorio de sonido, por su colaboración y disposición en el préstamo de los dispositivos necesarios para la realización de las mediciones en esta investigación.

*A Dios, nuestros padres, hermanos y amigos,
por su apoyo, cariño y confianza en nosotros.*

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	3
1.5.1 Alcances	3
1.5.2 Limitaciones	3
2. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	3
2.1.1 Nivel de presión sonora.....	3
2.1.2 Tiempo de reverberación.....	4
2.1.3 Ruido de fondo	5
2.1.4 Índice de reducción sonora aparente	5
2.1.5 Nivel medio de presión sonora en una superficie	6
2.1.6 Nivel medio de presión sonora en una habitación o local.....	6
2.1.7 Curvas STC.....	7
2.1.8 Sistemas de construcción tradicionales.....	7
2.1.8.1 Aporticado	7
2.1.8.2 Mampostería estructural.....	8
2.1.8.3 Mampostería reforzada	9
2.1.8.4 Mampostería confinada	10

2.1.9 Sistemas de construcción industrializados	11
2.1.9.1 Sistemas de construcción industrializados in-situ	11
2.1.9.2 <i>Outinord</i>	11
2.1.9.3 <i>Con-tech</i>	12
2.1.10 Sistemas de construcción prefabricados	13
2.1.10.1 Metecno.....	13
2.1.10.2 Paneles IC.....	14
2.1.10.3 Servivienda.....	15
2.1.10.4 Speedco	16
2.1.10.5 Plycem.....	17
2.1.10.6 Royalco	18
2.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	19
3. METODOLOGÍA	19
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SANBUENAVENTURA/ SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	19
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20
3.4 HIPÓTESIS	20
3.5 VARIABLES.....	20
3.5.1 Variables independientes	20
3.5.2 Variables dependientes	20
4. DESARROLLO INGENIERIL	20
4.1 INSTRUMENTAL Y MÉTODO DE MEDICIÓN	20
4.1.1 Fuente sonora	20
4.1.2 Medidor de nivel sonoro	21
4.1.3 Sistema de grabación, reproducción y análisis	21
4.1.4 Protocolo de medición	22
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	30
5.1 INFORMES DE CADA SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	30
SEGÚN ISO 140-5:1998.....	30

5.1.1 Informes de ensayo sistema de construcción <i>Con-tech</i>	30
5.1.1.1 Informe de ensayo primer recinto	30
5.1.1.2 Informe de ensayo segundo recinto	32
5.1.1.3 Informe de ensayo tercer recinto	34
5.1.1.4 Informe de ensayo cuarto recinto	36
5.1.2 Informes de ensayo sistema de construcción mampostería estructural	38
5.1.2.1 Informe de ensayo primer recinto	38
5.1.2.2 Informe de ensayo segundo recinto	40
5.1.2.3 Informe de ensayo tercer recinto	42
5.1.2.4 Informe de ensayo cuarto recinto	44
5.1.3 Informes de ensayo sistema de construcción aporticado	46
5.1.3.1 Informe de ensayo primer recinto	46
5.1.3.2 Informe de ensayo segundo recinto	48
5.1.3.3 Informe de ensayo tercer recinto	50
5.1.3.4 Informe de ensayo cuarto recinto	52
5.1.4 Informes de ensayo sistema de construcción <i>Outinord</i>	54
5.1.4.1 Informe de ensayo primer recinto	54
5.1.4.2 Informe de ensayo segundo recinto	56
5.1.4.3 Informe de ensayo tercer recinto	58
5.1.4.4 Informe de ensayo cuarto recinto	60
5.2 CÁLCULO DE LOS VALORES DE STC PARA CADA SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN.....	62
5.4 ERRORES SISTEMÁTICOS.....	69

6. CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índice de reducción sonora, primer informe, sistema de construcción Con-tech.....	31
Tabla 2. Índice de reducción sonora, segundo informe, sistema de construcción Con-tech.....	33
Tabla 3. Índice de reducción sonora, tercer informe, sistema de construcción Con-tech.....	35
Tabla 4. Índice de reducción sonora, cuarto informe, sistema de construcción Con-tech.....	37
Tabla 5. Índice de reducción sonora, primer informe, sistema de construcción mampostería estructural.....	39
Tabla 6. Índice de reducción sonora, segundo informe, sistema de construcción mampostería estructural.....	41
Tabla 7. Índice de reducción sonora tercer informe, sistema de construcción mampostería estructural.....	43
Tabla 8. Índice de reducción sonora, cuarto informe, sistema de construcción mampostería estructural.....	45
Tabla 9. Índice de reducción sonora, primer informe, sistema de construcción aporticado.....	47
Tabla 10. Índice de reducción sonora, segundo informe, sistema de construcción aporticado.....	49
Tabla 11. Índice de reducción sonora, tercer informe, sistema de construcción aporticado.....	51
Tabla 12. Índice de reducción sonora, cuarto informe, sistema de construcción aporticado.....	53
Tabla 13. Índice de reducción sonora, primer informe, sistema de construcción <i>outinord</i>	55
Tabla 14. Índice de reducción sonora, segundo informe, sistema de construcción <i>outinord</i>	57
Tabla 15. Índice de reducción sonora, tercer informe, sistema de construcción <i>outinord</i>	59

Tabla 16. Índice de reducción sonora, cuarto informe, sistema de construcción <i>outinord</i>	61
Tabla 17. Tabla comparativa valores STC entre sistemas de construcción aporticado, <i>con-tech</i> , mampostería estructural y <i>outinord</i>	67
Tabla 18. Valores STC, <i>what can be heard</i>	67
Tabla 19. Valores STC dependiendo del tipo de partición.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

Figura 1. Sistema de construcción aporticado.....	7
Figura 2. Sistema de construcción mampostería estructural.....	8
Figura 3. Sistema de construcción mampostería reforzada.....	9
Figura 4. Sistema de construcción mampostería confinada.....	10
Figura 5. Sistema de construcción <i>outinord</i>	11
Figura 6. Sistema de construcción <i>con-tech</i>	12
Figura 7. Sistema de construcción metecno.....	13
Figura 8. Sistema de construcción paneles IC.....	14
Figura 9. Sistema de construcción servivienda.....	15
Figura 10. Sistema de construcción <i>speedco</i>	16
Figura 11. Sistema de construcción <i>plycem</i>	17
Figura 12. Sistema de construcción royalco.....	18
Figura 13. Cabina JBL EON 10.....	21
Figura 14. Medidor de nivel sonoro.....	21
Figura 15. Consola de audio.....	22
Figura 16. Flujo de la señal, conexiones utilizadas a lo largo del proyecto.....	23
Figura 17. Geometría correspondiente al método del altavoz.....	24
Figura 18. Foto tomada con cámara Sony, <i>cybershot</i> 1.3 mp, método del altavoz.....	25
Figura 19. Medidor de nivel sonoro en el interior del recinto, tomada con cámara Sony, <i>cybershot</i> 1.3 mp.....	26
Figura 20. Condiciones en largas líneas rectas de tránsito.....	28
Figura 21. Índice de reducción sonora, primer recinto, sistema de construcción <i>con-tech</i>	31
Figura 22. Índice de reducción sonora, segundo recinto, sistema de construcción <i>con-tech</i>	34
Figura 23. Índice de reducción sonora, tercer recinto, sistema de construcción <i>con-tech</i>	36

Figura 24. Índice de reducción sonora, cuarto recinto, sistema de construcción con-tech.....	38
Figura 25. Índice de reducción sonora, primer recinto, sistema de construcción mampostería estructural	40
Figura 26. Índice de reducción sonora, segundo recinto, sistema de construcción mampostería estructural	42
Figura 27. Índice de reducción sonora, tercer recinto, sistema de construcción mampostería estructural	44
Figura 28. Índice de reducción sonora, cuarto recinto, sistema de construcción mampostería estructural	46
Figura 29 Índice de reducción sonora, primer recinto, sistema de construcción aporticado	48
Figura 30. Índice de reducción sonora, segundo recinto, sistema de construcción aporticado	50
Figura 31. Índice de reducción sonora, tercer recinto, sistema de construcción aporticado	52
Figura 32. Índice de reducción sonora, cuarto recinto, sistema de construcción aporticado	54
Figura 33. Índice de reducción sonora, primer recinto, sistema de construcción outinord.....	56
Figura 34. Índice de reducción sonora, segundo recinto, sistema de construcción outinord.....	58
Figura 35. Índice de reducción sonora, tercer recinto, sistema de construcción outinord.....	60
Figura 36. Índice de reducción sonora, cuarto recinto, sistema de construcción outinord.....	62
Figura 37. Valores para la curva estándar STC-50	64
Figura 38. STC total sistema de construcción Con-tech.....	65
Figura 39. STC total sistema de construcción mampostería estructural.....	65
Figura 40. STC total sistema de construcción Aporticado	66
Figura 41. STC total sistema de construcción <i>Outinord</i>	66

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Nivel de presión sonora	3
Ecuación 2. Tiempo de reverberación de Sabine de un recinto.	4
Ecuación 3. Absorción sonora total de los materiales en un recinto.....	4
Ecuación 4. Constante de atenuación sonora del aire.	5
Ecuación 5. Índice de reducción sonora aparente.....	5
Ecuación 6. Nivel medio de presión sonora en una superficie.	6
Ecuación 7. Nivel medio de presión sonora en una habitación o local.	6
Ecuación 8. Nivel medio de presión sonora en una superficie.	27
Ecuación 9. Nivel medio de presión sonora en una habitación o local.	27
Ecuación 10. Índice de reducción sonora aparente.....	27
Ecuación 11. Ecuación general de <i>Sabine</i>	29
Ecuación 12. Diferencia entre curva estándar <i>S50</i> y <i>TL</i>	62
Ecuación 13. Estimación del valor para <i>STC1</i>	63
Ecuación 14. Deficiencia entre la curva estándar <i>STC</i> para <i>STC1</i> y los puntos de datos experimentales para la pérdida de transmisión.	63
Ecuación 15. Cálculo del ajuste para primera estimación del <i>STC</i>	64

INTRODUCCIÓN

En Colombia existen varios sistemas de construcción, que son usados con gran frecuencia como el *Outinord*, que consiste básicamente en realizar la construcción con moldes o formaletas, vertiendo concreto en ellas para obtener rápidamente la estructura. Muy parecido es el sistema *Con-tech*, el cual se diferencia en que es más rápido y toma menos tiempo en realizar su construcción, a estos se les llama “sistemas industrializados”. Existen otros sistemas los cuales se usan menos pero se hallan muchas construcciones en Colombia, estos son: sistema aporticado y mampostería estructural, que basan su principio en la colocación de vigas y estructuras. Esta especie de sistemas puede tener algún tipo de influencia sobre el confort acústico, variando el sistema según su estructura.

El confort acústico en las construcciones actuales en Colombia es un tema, al cual se le presta poca importancia, por lo cual no se poseen lineamientos estrictos de ningún tipo con respecto a esto. Bajo la teoría acústica de aislamiento sonoro o TL (*Transmission loss* o “pérdida por transmisión”, en español) se tiene como premisa que el sonido se verá afectado durante su trayecto dependiendo de los materiales, sus características y la forma como estos estén localizados, ya que mientras más denso es un material, menor será la cantidad de energía sonora que se transmita a través de él; o si en una construcción se presentan particiones tales como muros de ladrillo hueco revestidos de concreto, se obtendrá de igual manera un alto aislamiento del sonido debido a que el cambio de medio beneficia la pérdida por transmisión. De lo anterior se desprende que cada sistema de construcción, e incluso dentro de cada sistema, cada construcción tenga un aislamiento sonoro diferente, dependiendo, de su estructura y los materiales utilizados durante su elaboración.

Dentro del presente trabajo de grado titulado “Análisis de ruido aéreo de fachada en sistemas de construcción *Con-tech*, *Outinord*, aporticado y mampostería estructural”, se buscará analizar el comportamiento acústico que presentan las fachadas, en los sistemas de construcción utilizados en Colombia, en especial los sistemas de construcción industrializados, ya que estos predominan y son los más usados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

En el mundo existen patentados muchos sistemas industrializados en la construcción, unos quizá derivados de otros, de los cuales las empresas dedicadas a esta actividad en nuestro país han adoptado, entre otros, el sistema de paneles prefabricados, el sistema *Outinord*, el sistema *Contech*, y la mampostería reforzada y estructural. Es así como las empresas constructoras con suficientes capacidades económicas buscan nuevas opciones, que les permitan producir a una velocidad superior y ofrecer menor precio.

El primer sistema cerrado de Grandes Paneles de hormigón prefabricado, consistió en un molde, en el cual se vaciaba el concreto sobre una malla de acero, en el que, los marcos de los vanos se colocaban en el momento de la fundida; dicho sistema solucionaba las uniones con un sistema de cajas. El primer edificio fue construido en 1904, originándose mucha polémica, como consecuencia del espesor de los elementos que se tuvieron que sobredimensionar, y se perdió toda la esencia del sistema. Esto provocó que se dejara de lado el proceso por un tiempo.

Los adelantos de la construcción continuaron en los años siguientes, incluso en la Primera Guerra Mundial, sin embargo fue la Segunda Guerra Mundial la que comprometió a los ingenieros a dar solución pronta al problema de vivienda en las ciudades destruidas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante el desarrollo de proyectos de construcción de vivienda, uno de los objetivos principales de los constructores es recuperar de manera rápida el capital invertido, por esto buscan realizar sistemas de construcción no solamente económicos en su desarrollo, sino que también para recortar de tiempo. Esta modalidad puede tener consecuencias negativas en cuanto al aislamiento de los diferentes tipos de ruido, por parte de estas estructuras, probable motivo por el cual, actualmente, en muchas viviendas los problemas de ruido y de la forma en que este afecta a las personas es cada vez más severo, a diferencia de algunos sistemas constructivos anteriores a los industrializados los cuales posiblemente no presentan estos problemas en gran medida, debido a sus diferencias estructurales

1.3 JUSTIFICACIÓN

Análisis de los diseños de sistemas de construcción tradicionales y los industrializados, los cuales se están llevando a cabo actualmente y que tienen una mayor tendencia a crecer debido a las facilidades y flexibilidades que presentan con respecto a costos y tiempo, probablemente haciendo que el aislamiento no sea el adecuado de acuerdo a ciertos criterios acústicos para construcciones, sobre todo para lo referente al aislamiento acústico. Esto puede ser el origen de problemas tales como la falta de intimidad, o de factores psicológicos como el estrés.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar, determinar y comparar los problemas de confort acústico y sus causas en los sistemas de construcción.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los lugares a estudiar y las normas internacionales de mediciones acústicas que se usarán, para este caso: transmisión de ruido por vía aérea.
- Realizar determinada cantidad de mediciones acústicas en las construcciones, de acuerdo a las normas escogidas.
- Establecer el valor de los parámetros acústicos objeto de la medición.
- Evaluar los resultados mediante métodos estadísticos.
- Analizar y determinar los problemas de aislamiento acústico.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 ALCANCES

Al encontrar las falencias en las construcciones de vivienda actuales, debido a materiales de bajo costo, que no son buenos acústicamente, se brindará una posible solución de aislamiento acústico.

1.5.2 LIMITACIONES

El sistema constructivo más adecuado en su aislamiento acústico, puede no ser el más adecuado para código sismo resistente.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se precisan los términos que se emplearán a lo largo del presente proyecto, para una mejor comprensión.

2.1.1 Nivel de presión sonora

El nivel de presión sonora (SPL) se podría definir como una variación de presión, que es expresada en decibelios, generada por una onda sonora que viaja por un medio elástico, y normalmente se define por la siguiente expresión matemática:

$$SPL = 20 \log_{10}(p/p_0)$$

Ecuación 1. Nivel de presión sonora

1 CYRIL, Harris. Manual de medidas acústicas y control de ruido Vol. 1. McGraw Hill, 1998 p.1.11.

“Donde p se refiere al valor de presión instantánea, medida en Pascales, producida por la onda que se desplaza en el medio y p_0 es la presión de referencia, la cual en todos los casos tendrá un valor de 20 micro-Pascales. Este valor de referencia describe en forma estándar al umbral de percepción del oído humano.”¹

2.1.2 Tiempo de reverberación

Es el parámetro fundamental para cualquier análisis y valoración de un recinto y se define como el tiempo necesario para que, una vez suspendida la fuente sonora emisora en un recinto, la energía disminuya 60dB. La expresión matemática es:²:

$$TR = \frac{0.161V}{A_{tot} + 4mV}$$

Ecuación 2. Tiempo de reverberación de Sabine de un recinto

Donde: V es el volumen total de la sala en metros cúbicos.

A_{tot} La absorción total del recinto.

$4mV$ La absorción producida por el aire.

La absorción total es posible determinarla conociendo los coeficientes de absorción de los diferentes materiales de la siguiente manera:

$$A_{tot} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

Ecuación 3. Absorción sonora total de los materiales superficiales en un recinto

Donde: α_n Es el coeficiente de absorción de cada material.

S_n Es la superficie individual en metros cuadrados que ocupa cada material.

2 EVEREST, Alton, *Master handbook of acoustics*, cuarta edición, McGraw Hill, 2001.p 135.

“La absorción del aire es significativa para frecuencias superiores a 1 KHz, para el caso de grandes salas, y es definida mediante la constante de atenuación del sonido en el aire m presentada en la siguiente expresión:”⁴

$$m = (8,94)10^{-4} \left(\frac{f^2}{\rho_0 c^3} \right) (m^{-1})$$

Ecuación 4. Constante de atenuación sonora del aire.

Donde: f es el valor de la frecuencia.

ρ_0 es la densidad del aire

c es la velocidad del sonido en el aire

2.1.3 Ruido de fondo

Es el nivel de ruido ambiente presente en un recinto sobre el que se deben medir las fuentes de ruido. El ruido de fondo se utiliza para diferenciar el ruido producido por una fuente y así determinar su relación.

2.1.4 Índice de reducción sonora aparente

Según la norma internacional ISO 140-5:1998, el Índice de reducción sonora aparente lo define como: “medida del aislamiento a ruido aéreo, de un elemento de edificación cuando se usa como fuente sonora un altavoz para un ángulo de incidencia de 45°. El ángulo de incidencia es el ángulo entre el eje del altavoz dirigido al centro de la muestra de ensayo y la normal a la superficie de fachada. Se calcula mediante la siguiente ecuación:”³

$$R'_{45} = L_{1s} - L_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{S}{A} \right) - 1.5$$

Ecuación 5. Índice de reducción sonora aparente.

2 EVEREST, Alton, *Master handbook of acoustics*, cuarta edición, McGraw Hill, 2001.p 135

3 ISO 140-5: 1998 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 7.

4 RECUERO LOPEZ, Manuel. *Acústica arquitectónica aplicada*. Paraninfo p.65.

2.1.5 Nivel medio de presión sonora en una superficie

Según la norma internacional ISO 140-5:1998, el nivel medio de presión sonora en una superficie lo define como: L_{1s} : diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la media, temporal y espacial, de los cuadrados de las presiones en la superficie y el cuadrado de la presión de referencia. La media espacial debe comprender la totalidad de la superficie en ensayo, incluyendo los efectos de reflexiones de la muestra y fachada. Se expresa en decibeles.³

$$L_{1s} = 10 \text{ Log } \frac{p_1^2}{p_{ref}^2}$$

Ecuación 6. Nivel medio de presión sonora en una superficie

2.1.6 Nivel medio de presión sonora en una habitación o local

Según la norma internacional ISO 140-5:1998, se define el nivel medio de presión sonora en una habitación o local como: L_2 : diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la media, temporal y espacial, de los cuadrados de las presiones respecto al cuadrado de la presión de referencia. La media espacial debe extenderse a la totalidad del local, con excepción de aquellas partes en las que la radiación directa de la fuente de ruido o en el campo próximo de las superficies límites (paredes, ventanas, etc), tengan una influencia significativa. Se expresa en decibeles.³

$$L_2 = 10 \text{ Log } \frac{p_2^2}{p_{ref}^2}$$

Ecuación 7. Nivel medio de presión sonora en una habitación o local

3 ISO 140-5:1998 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 7.

2.1.7 Curvas STC

Es una valoración de un número único utilizada para comparar propiedades de aislamiento del sonido en paredes, entresijos, cubiertas, ventanas o puertas. La clase de transmisión del sonido se obtiene a partir de la pérdida por transmisión en 16 bandas de ensayo.

Para facilitar las comparaciones entre las distintas configuraciones de particiones constructivas (paredes, entresijos, cubiertas, ventanas o puertas) el aislamiento de sonido se expresa como un número único denominado STC. Cuanto mayor es este número, mayor es el aislamiento sonoro que aporta la construcción.

2.1.8 Sistemas de construcción tradicionales

2.1.8.1 Aporticado

Figura 1. Sistema construcción aporticado



Fuente: http://ascomag.blogspot.com/2007_11_01_archive.html

Los elementos porticados, son estructuras de concreto armado con las misma dosificación columnas, vigas peraltadas, o chatas unidas en zonas de confinamiento donde forman ángulo de 90^0 en el fondo, parte superior y lados laterales. El aporticado o tradicional consiste en el uso de columnas, losas y muros divisorios en ladrillo.

2.1.8.2 Mampostería estructural

Figura 2. Sistema Construcción mampostería estructural



Fuente: http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/R-Construdata126_mamposteria/r12606.htm

Este sistema muestra similitud con el anterior, con la diferencia de que la estructura del edificio es soportada por planchas y muros. Se compone de bloques estructurales los cuales son atravesados por varillas y rellenos de concreto, estos finalmente componen los muros de la construcción .⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.1.8.3 Mampostería reforzada

Figura 3. Sistema de construcción mampostería reforzada



Fuente:<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm>

Está conformada por muros contruidos con ladrillos huecos pegados con mortero de cemento; esto la clasifica como un sistema artesanal. La mampostería reforzada se arma con ladrillos, mortero de pega, mortero de inyección y barras de acero de refuerzo. La mampostería se arma de tal manera que se forman celdas verticales por las cuales van las barras de refuerzo y las instalaciones menores. Este sistema esta certificado frente a (NRS-98)⁵.

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. “industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.1.8.4 Mampostería confinada

Figura 4. Sistema de construcción Mampostería confinada



Fuente: http://informedeobra02.blogspot.com/2008_08_01_archive.html

Está conformada por muros construidos con ladrillos pegados con mortero, confinados por sistemas de concreto reforzado tradicionales como columnas. Es, un sistema sobre el cual existe amplia experiencia constructiva en Colombia y cuenta con un buen soporte experimental y analítico. La mayor parte de las ventajas y desventajas relativas frente a sistemas constructivos diferentes son compartidas con la mampostería estructural. Es apta para construcciones en altura hasta unos seis pisos.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.1.9 Sistemas de construcción industrializados

Son aquellos sistemas cuyo diseño de producción es mecanizado, en el que todos los subsistemas y componentes se han integrado en un proceso global de montaje y ejecución para acelerar su construcción.

2.1.9 .1Sistemas de construcción industrializados in-situ

2.1.9.2 Outinord

Figura 5. Sistema de construcción outinord



Fuente: Foto cortesía Arquitectos e Ingenieros Asociados S.A

Emplea formaletas, concreto y acero de refuerzo. Permite edificaciones de varios pisos. Las fachadas se pueden construir sin limitaciones arquitectónicas y el aislamiento acústico y térmico resulta aceptable, similar al de otros sistemas como los de mampostería o prefabricación en grandes paneles de concreto reforzado. El sistema está certificado frente a la (NSR-98)⁵.

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

El sistema tiene el inconveniente del alto costo de la formaleta y, como otros sistemas prefabricados, no permite modificaciones futuras de la construcción, ni ofrece flexibilidad arquitectónica por el proceso mismo de construcción.

2.1.9.3 Con-tech

Figura 6. Sistema de construcción con-tech



Fuente: <http://reservadelnogal.blogspot.com>

Con-Tech es un sistema de construcción industrializado que utiliza módulos de aluminio fundido de diferentes dimensiones, que ensamblados conforman la formaleta para los muros de la edificación. Con el sistema se pueden realizar los trabajos de colocación del refuerzo, instalaciones, formaleta y fundida del concreto en un solo día, dejando un tiempo adecuado para que el concreto fragüe y se pueda repetir el mismo proceso al día siguiente. El sistema está compuesto esencialmente por moldes de aluminio fundido, separadores, pasadores y cuñas.

El sistema cumple con las especificaciones de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1.998 (NSR – 98)⁵.

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. “industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.1.10 Sistemas prefabricados

2.1.10.1 Metecno

Figura 7. Sistema de construcción metecno



Fuente: <http://material-profesional.cronica.vivastreet.com.mx/equipo-profesional+san-nicolas-de-los-garza/cuarto-frío/19730808>

Es un método industrializado de obra seca a partir de paneles de poliuretano expandido y lámina metálica. Emplea paneles tipo emparedado (poliuretano expandido dentro de lámina metálica), perfilería en aluminio, y cubierta también con paneles tipo emparedado. La estructura está compuesta por perfiles de aluminio anclados con pernos de expansión a la losa en concreto que sirve de cimentación. La edificación obtenida tiene un adecuado aislamiento térmico y acústico y es resistente a efectos climáticos y bióticos. Está en su trámite inicial la certificación frente a la NSR-98. El sistema permite una construcción rápida a partir de elementos prefabricados que cuentan con el control de calidad de fábrica. Los materiales permiten acabados que vienen de fábrica, a través de pintura aplicada a las láminas metálicas de los paneles. Este sistema permite construcciones de hasta tres pisos; sin embargo, para viviendas de más de un piso requiere estructura metálica adicional.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

Como en varios casos similares, discutidos anteriormente, es difícil pronosticar la aceptación del comprador potencial del sistema.

2.1.10.2 Paneles IC

Figura 8. Sistema de construcción paneles IC



Fuente: <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/paneles.htm>

El sistema constructivo está basado en el empleo de grandes páneces prefabricados de concreto reforzado, colocados en la obra con soportes temporales que se van retirando a medida que la construcción va adquiriendo su forma. La construcción es rápida y está soportada por una amplia experiencia en obras realizadas en Bogotá y otras ciudades del país y el exterior. La cimentación se hace encima de vigas sobre las cuales los páneces verticales del primer piso van simplemente apoyadas. El sistema permite la construcción de edificaciones de varios pisos. El sistema está certificado frente a la NSR-98.

El sistema de grandes páneces reduce el número de uniones y permite una variedad de diseños que se adecúan a la normativa sismo resistente vigente. El control de calidad en planta permite que los páneces ofrezcan precisión en las dimensiones y en los materiales finales, lográndose así muy poco desperdicio.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

La unión de los p neles tiende a marcar juntas debido a los efectos producidos por los cambios de temperatura. Este factor, que no tiene trascendencia desde el punto de vista de la seguridad de la edificaci3n, ha preocupado a algunos usuarios.

2.1.10.3 Servivienda

Figura 9. Sistema de construcci3n servivienda



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/26935694.html>

Emplea una tecnología de construcci3n con base en m3dulos prefabricados en concreto de poco espesor; el sistema es empleado en Chile desde hace casi tres décadas, y se le han hecho algunas mejoras. Emplea m3dulos prefabricados en concreto, perfiles y zunchos. Requiere el ensamblaje de los muros dentro de perfiles de lámina galvanizada con una cubierta liviana que coloca a poca altura el centro de gravedad del conjunto. Esta tecnología está certificada con la (NSR-98)⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrializaci3n de la construcci3n, Magister ingeniería civil, área de ingeniería y gerencia de la construcci3n. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

El relativamente bajo aislamiento acústico y térmico se combina con la actitud del posible comprador, en especial cuando la oferta le permita comparar con sistemas que le resultan más familiares y con mejores terminados.

2.1.10.4 Speedco

Figura 10. Sistema de construcción speedco



Fuente: <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/inventario.htm>

Es un método industrializado de obra seca a partir de paneles de poliuretano expandido y fibro cemento. Emplea paneles, perfilería en aluminio, y cubierta liviana en fibro cemento. La estructura está compuesta por perfiles de aluminio que se fijan con herrajes a la cimentación. La edificación obtenida tiene buen aislamiento térmico y acústico, es de muy baja conductividad eléctrica e inmune al ataque de insectos.

El sistema permite una construcción rápida a partir de elementos prefabricados que cuentan con el control de calidad de fábrica. La durabilidad de los materiales es notable frente a agentes naturales y se pueden suministrar con texturas diferentes, pero no permite construcciones en altura.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

El sistema requiere una estructura metálica para edificaciones de dos pisos y además, impone la participación del fabricante en puntos clave de su desarrollo. Como en los casos anteriores, no hay experiencia sobre la actitud del comprador potencial del sistema.

2.1.10.5 Plycem

Figura 11. Sistema de construcción plycem



Foto cortesía de www.manueldelconstructor.com.sv

Está conformado por elementos modulares de fibro cemento. Emplea láminas, perfiles y elementos de fijación. El sistema Plycem se divide en dos versiones que son: “Plycem 1000”, que emplea únicamente láminas, y “Plycem 2000”, que emplea láminas separadas por perfiles metálicos. El sistema requiere elementos de fijación de fácil adquisición en el mercado.

Este sistema como muchos otros sistemas prefabricados, no permite variedad arquitectónica, pues limita construcciones en altura.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. “industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.1.10.6 Royalco

Figura 12. Sistema de construcción royalco



Fuente: Foto cortesía universidad de los Andes, magister de ingeniería civil

Con producción desde 1971, emplea perfiles de PVC rígido, piezas de anclaje, vigas de cumbrera y entrepiso, concreto y barras de refuerzo. Hace uso del PVC como material básico de construcción. Conformar un sistema industrializado y prefabricado. Maneja muros de carga con perfiles de PVC rígido, que ensamblados permiten obtener las paredes que se llenan con concreto fluido; se obtiene así una construcción muy resistente.

La modulación del sistema permite que el diseño sea sencillo con una construcción rápida, que pueden adelantar obreros con un poco de entrenamiento y experiencia necesaria. Se obtienen viviendas de buena apariencia, pero el sistema no permite construcciones en altura.

El transporte de los materiales desde la planta a la obra es desfavorable en términos relativos, puesto que pueden ocurrir daños. Como en varios de los sistemas antes mencionados, aparece la incógnita sobre la receptividad del producto por parte de compradores potenciales, en especial cuando hay varias alternativas en el mercado.⁵

5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. "industrialización de la construcción, Magister ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción. (MICIGC). <http://micigc.uniandes.edu.co>.

2.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

De acuerdo a la propuesta del proyecto, para la realización de las mediciones acústicas que se llevan a cabo en los cuatro diferentes sistemas de construcción en Bogotá, se ha empleado la metodología propuesta por los estándares internacionales ISO 140-5:1998, que corresponde a medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo, de elementos de fachada y fachadas.

La elección de esta norma para el desarrollo de las mediciones en el presente proyecto se debió a que la investigación está encaminada al análisis por vía aérea.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de investigación a emplear dentro del proyecto como empírico-analítico: debido al interés técnico y orientado a la interpretación de ciertos fenómenos, en donde se constatará su aseveración teórica con la práctica experimental, con el fin de determinar la solución de un problema.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA/ SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

El presente proyecto se sitúa adentro de la línea de tecnologías actuales y sociedad, con el fin de proveer información en progreso del conocimiento científico mediante métodos experimentales.

La sub-línea bajo la cual se puede clasificar este proyecto es de Instrumentación y control de procesos, a razón de que se pretenden medir, revisar y evaluar ciertos fenómenos y/o parámetros con el fin de controlar sus procesos.

Finalmente el campo de investigación corresponde al nodo de investigación de ingeniería de sonido, es la acústica, ya que se trabaja directamente con temas relacionados al aislamiento de ruido tales como: mediciones, pérdida por transmisión vía aérea, ruido aéreo, acondicionamiento acústico y confort acústico.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de información se emplearán las técnicas establecidas por la norma ISO 140-5:1998, donde los principales elementos que conforman la medición son: una fuente de ruido direccional, un receptor o micrófono de tipo omnidireccional y una fuente de almacenamiento de información de la señal, que es enviada y recibida por la fuente y el micrófono.

3.4 HIPÓTESIS

Los actuales sistemas de construcción de vivienda en Colombia no son apropiados, debido a que no presentan confort acústico.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variables independientes

Las variables independientes se enlistarán de la siguiente manera: el nivel y tipo de ruido de fondo, nivel de humedad, temperatura y el diseño del lugar de construcción.

3.5.2 Variables dependientes

Las variables dependientes son las siguientes: nivel de presión sonora y tipo de sonido a generar, calibración, ubicación y el tipo de los equipos de medición.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 INSTRUMENTAL Y MÉTODO DE MEDICIÓN

Los instrumentos de medición empleados para el desarrollo del presente proyecto corresponden, en forma básica, a los propuestos por la norma IEC 651:1979, los que permiten la obtención del tiempo de reverberación de cada recinto, para posteriormente realizar los cálculos de índice de reducción sonora aparente.

4.1.1 Fuente sonora

La fuente sonora empleada para cada una de las mediciones de los diferentes recintos bajo investigación, es la cabina activa EON 10 JBL suministrada por los laboratorios de la Universidad San Buenaventura, sede Bogotá, con su respectivo trípode.

La cabina consta de un altavoz de 10 pulgadas de diámetro, alcanza una potencia de 175 Watts, repartido de tal forma que entrega 125 Watts para frecuencia bajas y 50 Watts para frecuencias altas; el rango de frecuencias que maneja esta cabina se encuentra desde 65 Hz hasta 18 KHz.



Figura 13. Cabina JBL EON 10"

4.1.2 Medidor de nivel sonoro

Los sonómetros que se utilizaron a lo largo del proyecto, del fabricante SVANTEK, cuyo modelo corresponde al 943A, de las series 51-85 y el 51-93, fueron suministrados por los laboratorios de la Universidad San Buenaventura, sede Bogotá. Este medidor tiene la capacidad de desarrollar evaluaciones de precisión tipo 2, filtrar la señal para ponderaciones tipo A y C y realizar integración de nivel sonoro en el tiempo.

Por otra parte, el micrófono empleado posee un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada donde su referencia es Sv-N117, con relación señal ruido S/N de 125, una sensibilidad de 50,4 mV/Pa y con una respuesta en frecuencia de 30 Hz -4 KHz.



Figura 14. Medidor de nivel sonoro

4.1.3 Sistema de grabación, reproducción y análisis

Para el sistema de grabación de reproducción se utilizó una consola de audio y una computadora. La consola de audio a utilizar es una Behringer UB802 De 8 canales, con *phantom power*.



Figura 15. Consola de audio

El almacenamiento de la información para llevar a cabo el respectivo análisis, se llevó a cabo por medio de una computadora Toshiba, y para el posterior desarrollo de los cálculos se utilizó el software MATLAB, en el cual se implementó un código donde se involucran todas las fórmulas que se utilizaron.

4.1.4 Protocolo de medición

Se hizo el respectivo *scouting* de los lugares (apartamentos o salones sociales) que se definieron para las mediciones, para ésto se redactará una carta que será apoyada por la Universidad para facilitar el acceso a los distintos lugares y, de este modo, se logró una mayor atención por parte del personal con el que tuvimos que tratar. Para que éstos cumplan con el método de construcción que se determinó en el proyecto para su comparación, es necesario que las construcciones se encuentren totalmente desocupados, de lo contrario no serviría ya que se requiere medir el tiempo de reverberación del recinto.

De acuerdo a la norma ISO 140-5:1998, los materiales y procedimiento de medición son:

➤ Materiales

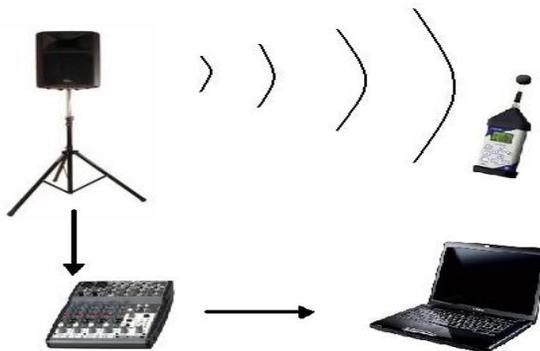
- Micrófono medición (diámetro máximo 13 mm)
- Cables XLR, RCA
- Sonómetro SVANTEK 943B,(Según norma IEC 651:1979,IDT)
- Trípodes
- Mixer *BEHRINGER UB802*
- Laptop Toshiba
- Altavoz (diferencias de presión en todas la bandas de frecuencia menor a 5 dB, sea en campo libre o sobre la fachada que se va a medir; si la superficie es muy grande superando los 5 m, se aceptan diferencias de 10 dB)(Según ISO 354:1985)
- Software audio *Adobe Audition 3.0*

➤ Diagrama de conexiones

El flujo de señal empleado durante el desarrollo del proyecto se muestra en el esquema de la figura 17, donde la computadora es conectada a través de la salida de audio, directamente a la entrada del *mixer*, utilizando un cable RCA a 1/8.

Posteriormente, utilizando un cable XLR a ¼ se conecta la cabina JBL - EON 10", en la entrada de *phone* del *mixer*, para así poder generar el ruido rosa mandado desde la computadora, para realizar el procedimiento de medición. Finalmente, el medidor de nivel sonoro se ubica en varias posiciones dentro del recinto para poder tomar los datos de tiempo de reverberación e índice de reducción sonora aparente.

Figura 16. Flujo de la señal, conexiones utilizadas a lo largo del proyecto



➤ MÉTODO DE MEDICIÓN

Ya que la norma ISO 140-5:1998, se divide en “medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas”, se escogerá el método de medición referente a la fachada en general, porque para el de elementos de fachada es necesario contar con laboratorios especializados para poder medir, a pesar de que , cabe la posibilidad de , errores durante la medición referente a la fachada, ya que factores climáticos, de humedad, inclusive de posiciones de micrófono, afectarían en alguna manera el resultado final.

➤ MEDICIÓN CON ALTAVOCES

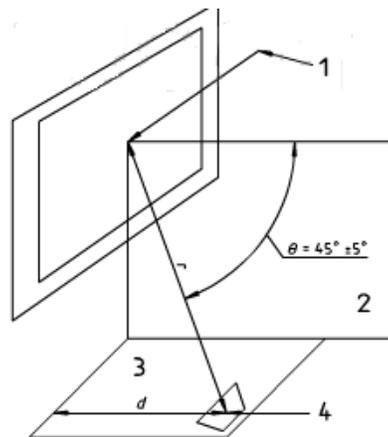
Generalidades

El método de altavoces global puede cuantificar el aislamiento a ruido aéreo de una fachada completa e incluso de un edificio completo, para una situación específica. Este resultado no puede compararse con mediciones de laboratorio.

Principio

El altavoz se instala en una o más posiciones del edificio a una distancia d de la fachada, con el ángulo de incidencia sonora igual a $(45^\circ - 5^\circ)$ grados.

Figura 17. Geometría correspondiente al método del altavoz



Fuente: ISO 140-5:1998p.9

Referencia

- 1 Normal a la fachada.
- 2 Plano vertical normal a la fachada.
- 3 Plano horizontal.
- 4 Altavoz.

3 ISO 140-5 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 9.

Figura 18. Método del altavoz



Fuente: fotografía tomada por Gary Toro, cámara Sony, *cybershot* 1.3 mp.

➤ **Medición global de altavoces**

Hay que situar el micrófono en la parte central del exterior de la fachada a distancias que deben ser:

- (2.0 – 0.2 m) desde el plano de la fachada o 1.0 m de la balaustrada u otra posible saliente.
- El micrófono interior debe situarse a una altura de 1.5 m sobre el suelo del local de recepción.
- Si la mayor parte de la fachada es inclinada, se elige una posición cuya distancia sea como mínimo igual a la distancia de su proyección a la parte vertical de la fachada.
- Si el local es muy grande o tiene más de dos paredes exteriores no suele ser posible la medición con una sola posición de fuente. En estos casos hay que ubicar la fuente en varias posiciones. El número de posiciones depende de las características direccionales del altavoz y del área de la fachada.

➤ **Medición en el local de recepción.**

El nivel de presión sonora se puede obtener mediante un único micrófono el cual irá rotando de posición, al interior de cada local se deben usar mínimo 5 posiciones de micrófono para obtener el nivel de presión sonora medio en cada campo sonoro.

3 ISO 140-5 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 9.

Deben ser lo más uniforme posibles estas ubicaciones, las siguientes distancias deberán superarse durante la ubicación de los micrófonos al interior del local:

- 0,7 metros entre posiciones de micrófonos.
- 0,5 metros entre cualquier posición de micrófono y superficies límites y objetos del local.
- 1 metro entre la posición de micrófono y la fuente sonora.

Se debe procurar que el ruido de fondo sea 10 dBs menor que la señal a generar.

Figura 19. Medidor de nivel sonoro en el interior del recinto



Fuente: fotografía tomada por Gary Toro, cámara Sony, *cybershot* 1.3 mp.

3 ISO 140-5 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 10.

➤ Cálculos

Para los diferentes cálculos que se emplearon a lo largo del proyecto, fue necesario el uso de las siguientes ecuaciones, sugeridas por la norma internacional ISO 140-5:

$$L_{1,s} = 10 \text{ Log } \frac{p_1^2}{p_{ref}^2}$$

Ecuación 8. Nivel medio de presión sonora en una superficie

$$L_2 = 10 \text{ Log } \frac{p_2^2}{p_{ref}^2}$$

Ecuación 9. Nivel medio de presión sonora en una habitación o local

$$R'_{45} = L_{1s} - L_2 + 10 \text{ Log } \left(\frac{S}{A} \right) - 1.5$$

Ecuación 10. Índice de reducción sonora aparente

➤ Rango de frecuencias

- a) Si se mide por bandas de tercio de octava, se debe tomar las bandas de frecuencia desde 100 Hz a 3150 Hz y, preferentemente, desde 50 Hz a 5000 Hz.
- b) Si se mide por banda de octava, tomar las bandas de frecuencia desde 125 Hz a 2000 Hz y, preferentemente, desde 63 Hz a 4000 Hz.

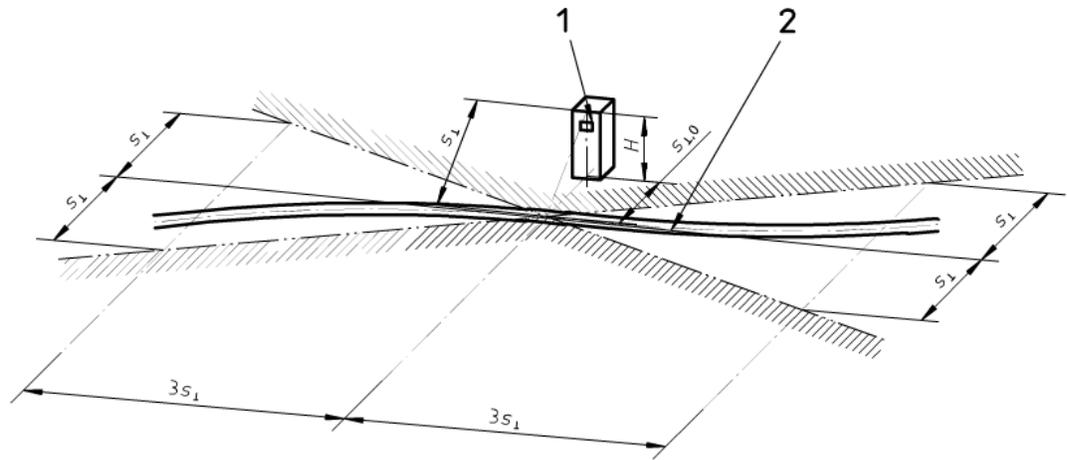
➤ Generación del campo sonoro

Las condiciones de medición deben satisfacer las siguientes especificaciones:

- a) El tránsito debe fluir aproximadamente de una línea recta con un ángulo de visión de 60 grados desde la fachada; dentro de este ángulo se permiten desviaciones de la línea recta de 15 grados, con la tangente a la línea de tránsito trazada en la intersección de la línea de tránsito con la normal a la fachada.

3 ISO 140-5 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 7.

Figura 20. Condiciones en largas líneas rectas de tránsito



Fuente ISO 140-5:1998, p.15

Donde

1 Punto de recepción

2 Línea de tránsito

S_1 es la diferencia entre el punto de recepción y la línea de tránsito

$S_{1,0}$ es la distancia horizontal entre el punto de recepción y la línea de tránsito

H es la diferencia entre el punto de recepción y la línea de tránsito

b) El ángulo de elevación, visto desde el punto de mínima distancia entre la fachada y la línea de tránsito, debe ser menor a 40 grados.

c) Debe tenerse una visión directa de la totalidad de la fachada desde todo el ancho de flujo de tránsito.

d) La distancia horizontal entre la línea de tránsito y la fachada debe ser, como mínimo, tres veces el ancho de la fachada a ensayar, o 25m el que sea mayor.

3 ISO 140-5:1998 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 15.

- e) El campo sonoro a generar será ruido rosa, ya que este ofrece un nivel de energía constante en todos los anchos de banda.

➤ **Medición de los niveles sonoros continuos equivalentes**

Se coloca el micrófono exterior en el centro de la fachada. Las distancias deben ser:

- (2.0 – 0.2 m) desde el plano de la fachada o
- 1.0 m de la balaustrada u otra posible saliente
- El micrófono interior debe situarse a una altura de 1.5 m sobre el suelo del local de recepción.

➤ **Medición del tiempo de reverberación y evaluación del área de absorción sonora equivalente**

Determinado a partir de la fórmula de *Sabine*

$$A = \frac{0,16V}{T}$$

Ecuación 11. Ecuación general de *Sabine*

Siendo:

A el área de absorción sonora equivalente en metros cuadrados.

V el volumen del local de recepción en metros cúbicos.

T el tiempo de reverberación del local de recepción en segundos.

De acuerdo a ISO-354:1985 hay que realizar la evaluación del tiempo de reverberación a partir de la curva de decrecimiento del nivel del ruido aproximadamente 0,1 s después de cesar la emisión de la fuente de ruido, o bien a partir de 5 dB por debajo del nivel de comienzo de la caída.

Debe usarse un intervalo de niveles mayor que 20 dB, que pueda aproximarse a una recta.

El final de este intervalo debe ser 10 dB, mayor que el nivel de ruido de fondo como mínimo.

3 ISO 140-5:1998 Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades, Definitions, p. 11.

Se necesitan seis mediciones de caída de nivel como mínimo, en cada banda de frecuencia. Se debe usar una posición del altavoz y tres posiciones de micrófono como mínimo, y dos lecturas en cada caso.

Se pueden usar micrófonos móviles que cumplan lo indicado en el apartado (6.2.2) de la ISO 140-3:1995, pero la duración del recorrido debe ser inferior a 30 segundos.

Los cálculos y presentación de resultados, se basarán en la norma ISO 140-5:1998.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 INFORMES POR CADA SISTEMA DE CONSTRUCCION SEGÚN ISO 140-5:1998

5.1.1 Informes de ensayo sistema de construcción Con-tech

5.1.1.1 Informe del ensayo (Primer recinto)

a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones "In Situ" del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.

b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro

c) Medición acústica realizada en la Calle 84 #4-21 apto 701, barrio "Rosales".

d) La medición se realizó el día 5 de septiembre del 2011.

e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de concreto de 4.37 m de largo por 2.43 m de alto, con una ventana con vidrio y marco de plástico de 3.24 m de largo por 1.61 m de alto.

f) El volumen del recinto es de $69.7893m^3$.

g) La fachada tiene una superficie de $10.6191 m^2$.

h) El índice de reducción sonora de acuerdo a las mediciones es:

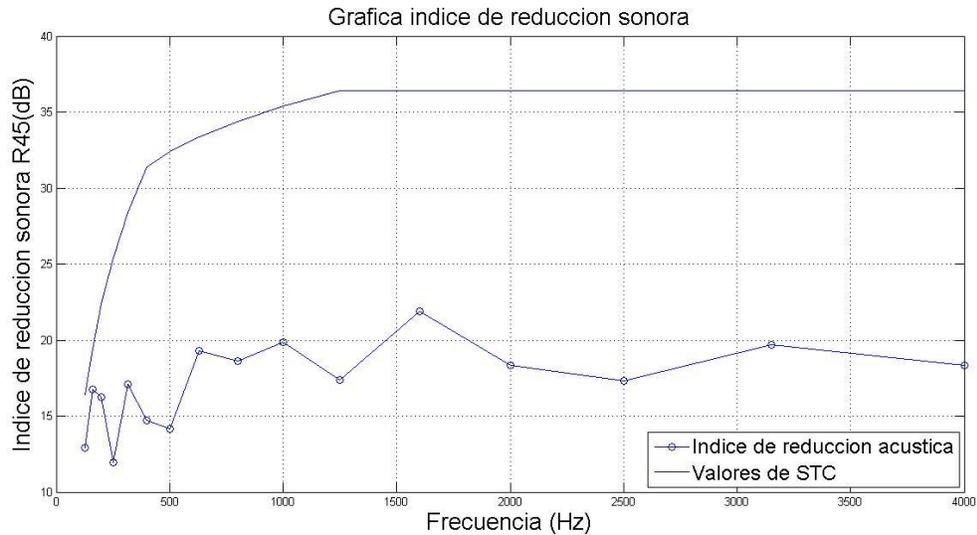
Tabla 1. Índice de reducción sonora primer recinto sistema *con-tech*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	12,8
160	16,7
200	16,2
250	11,9
315	17,1
400	14,7
500	14,1
630	19,2
800	18,6
1000	19,8
1250	17,3
1600	21,8
2000	18,3
2500	17,2
3150	19,7
4000	18,3

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) Ruido de fondo 51.5 dB
- j) El método utilizado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- k) No se presentaron desviaciones respecto a la norma.
- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 21. Índice de reducción sonora primer recinto sistema de construcción con-tech.



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 1

5.1.1.2 Informe del ensayo (Segundo recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones "In Situ" del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro
- c) Medición acústica realizada en la Calle 84 #4-21 apto 102, barrio "Rosales".
- d) La medición se realizó el día 5 de septiembre del 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de concreto de 4.37 m de largo por 2.43 m de alto con una ventana con vidrio y marco de plástico de 3.24 m de largo por 1.61 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $69.7893 m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $10.6191 m^2$.
- h) El índice de reducción sonora de acuerdo a las mediciones es:

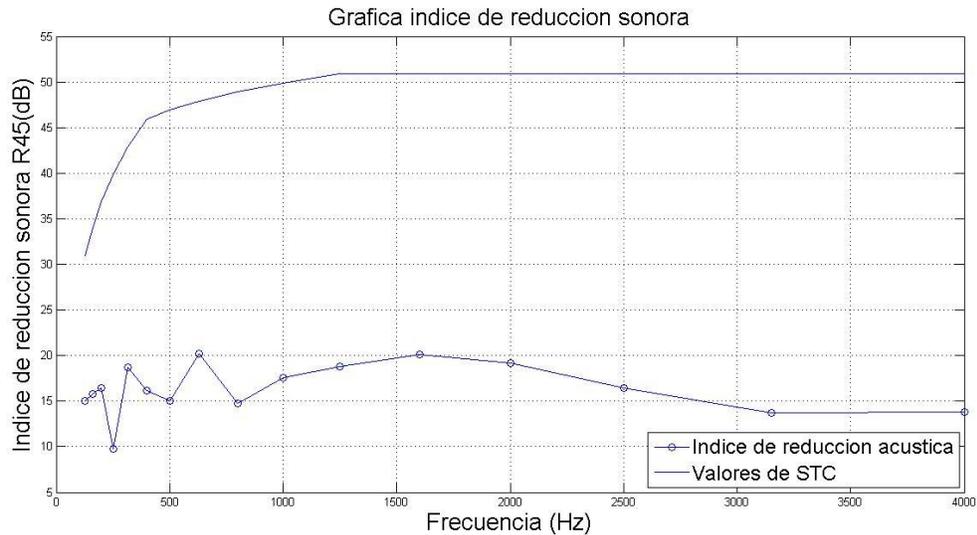
Tabla 2. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema *con-tech*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	13,7
160	9,7
200	15,3
250	14,4
315	15,1
400	18,8
500	20,9
630	20,3
800	16,0
1000	19,8
1250	15,8
1600	18,6
2000	19,5
2500	20,7
3150	23,2
4000	23,1

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 49.7 dB.
- k) No se presentaron desviaciones respecto a la norma.
 - A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 22. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema de construcción con-tech.



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 2

5.1.1.3 Informe del ensayo (tercer recinto.)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro
- c) Medición acústica realizada en la carrera 8 # 127b-05, apto 101, barrio “Ginebra”.
- d) La medición se realizó el día 12 de septiembre del 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de concreto de 4.25 m de largo por 2.22 m de alto con una ventana con vidrio y marco de plástico de 3 m de largo por 1.51 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de 62.911 m³.

- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $8.7150 m^2$.
- h) El índice de reducción sonora de acuerdo a las mediciones es:

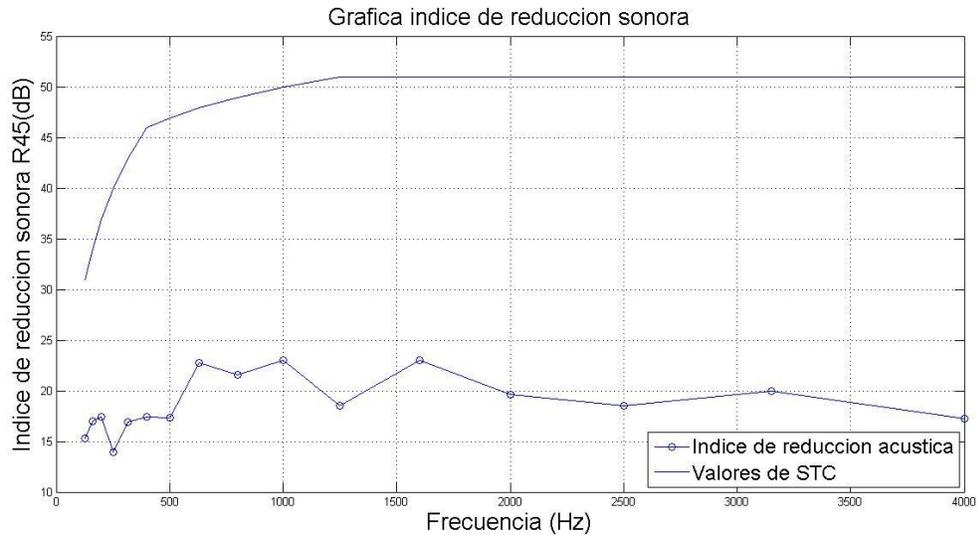
Tabla 3. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema *con-tech*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	15,3
160	17,0
200	17,4
250	13,9
315	16,8
400	17,4
500	17,3
630	22,7
800	21,5
1000	22,9
1250	18,5
1600	22,9
2000	19,6
2500	18,4
3150	19,9
4000	17,2

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 52.2 dB.
- k) No se presentaron desviaciones respecto a la norma.
- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 23. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema de construcción con-tech



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 3

5.1.1.4 Informe del ensayo (cuarto recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la carrera 8#127^a-13, apto 103, barrio “Ginebra”.
- d) La medición se realizó el día 12 de septiembre del 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de concreto de 4.16 m de largo por 2.1 m de alto con una ventana de 2.18 m de largo por 1.65 de alto.
- f) El volumen del recinto es de 65.813 m^3 .
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de 8.7360 m^2 .
- h) El índice de reducción sonora de acuerdo a las mediciones es:

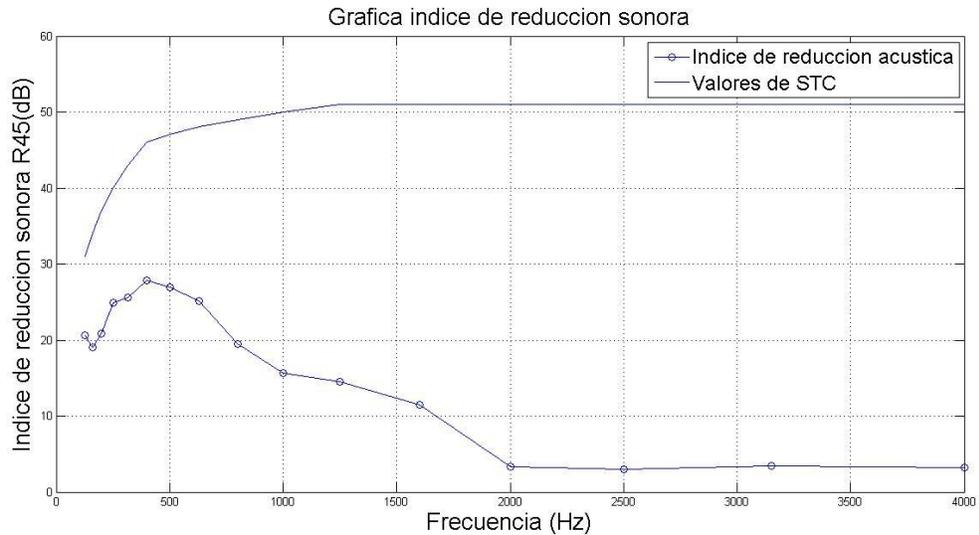
Tabla 4. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema *con-tech*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	20,6
160	19,0
200	20,8
250	24,9
315	25,6
400	27,8
500	26,9
630	25,1
800	19,4
1000	15,6
1250	14,4
1600	11,4
2000	3,2
2500	3,0
3150	3,4
4000	3,1

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 53.8 dB.
- k) No se presentaron desviaciones respecto a la norma.
 - A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 24. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema de construcción con-tech.



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 4

5.1.2 Informes de ensayo sistema de construcción mampostería estructural

5.1.2.1 Informe de ensayo (Primer recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones "In Situ" del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la Calle 100 # 11b-04, sala de juntas.
- d) La medición se realizó el día 4 de noviembre del 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 2.62 m de largo por 2.7 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 1.84 m de largo por 1.75 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $52.3697m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $7.0740 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 5. Índice de reducción sonora primer recinto sistema mampostería estructural

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	22,5
160	21,9
200	22,8
250	20,3
315	23,2
400	21,2
500	21,0
630	19,2
800	20,4
1000	22,5
1250	22,5
1600	20,5
2000	19,2
2500	20,4
3150	21,1
4000	23,5

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

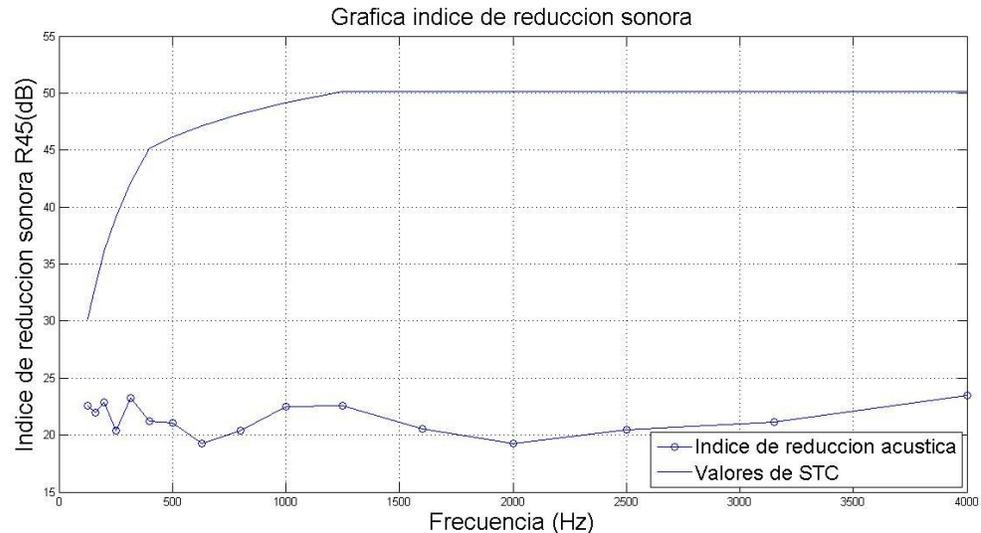
i) El método de medición implementado fue: "Método global con altavoces sobre fachada".

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 44.5 dB.

k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 25. Índice de reducción sonora primer recinto sistema de construcción mampostería estructural.



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 5

5.1.2.2 Informe de ensayo (Segundo recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la carrera 19 # 145-71, torre 3, apto 104, barrio “Cedritos”.
- d) La medición se realizó el día 1 de noviembre de 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 3.02 m de largo por 2 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 1.84 m de largo por 1.5 m de alto
- f) El volumen del recinto es de $50.116m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $6.040 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 6. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema mampostería estructural

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	22,2
160	20,1
200	23,1
250	19,5
315	24,0
400	21,1
500	20,3
630	20,3
800	21,1
1000	22,3
1250	22,3
1600	20,5
2000	18,7
2500	20,1
3150	21,7
4000	21,9

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

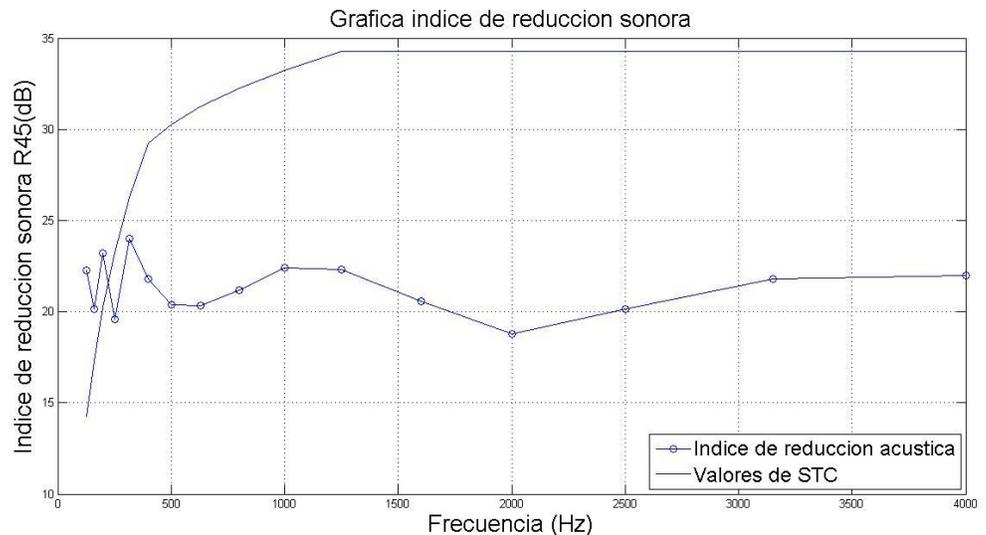
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 47.5 dB.

k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto, no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 26. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema de construcción mampostería estructural



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 6

5.1.2.3 Informe de ensayo (Tercer recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la cra 48 # 150^a-63, apto 201, barrio “Mazurén”.
- d) La medición se realizó el día 25 de abril del 2012.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 2.5 m de largo por 2 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 1.67 m de largo por 1.71 m de alto
- f) El volumen del recinto es de $47.1941m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $5.1 m^2$.
- h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 7. Índice de reducción sonora tercer recinto mampostería estructural

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	22,8
160	20,2
200	22,9
250	20,1
315	24,8
400	20,6
500	22,1
630	18,9
800	21,3
1000	22,4
1250	23,2
1600	20,6
2000	19,6
2500	20,6
3150	21,1
4000	24,0

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

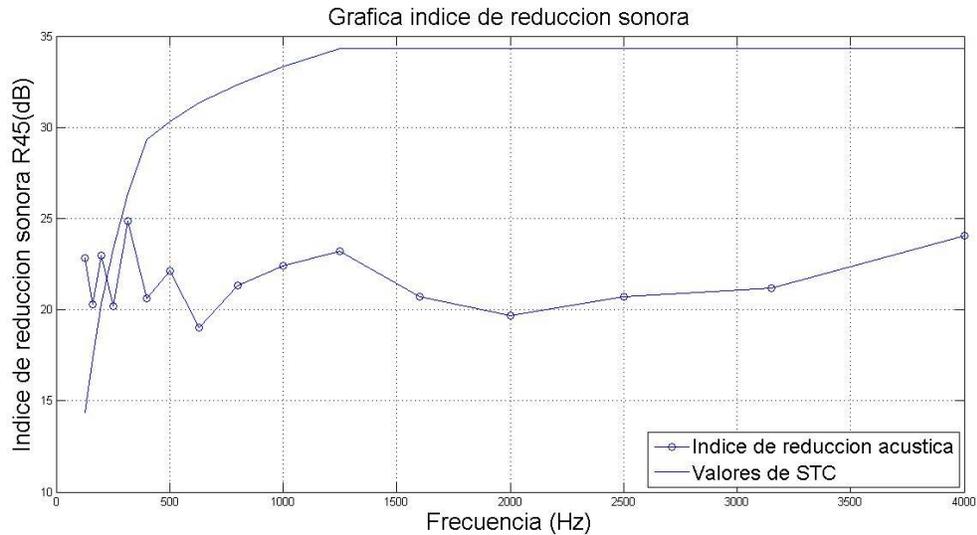
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 44.9 dB.

k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 27. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema de construcción mampostería estructural.



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 7

5.1.2.4 Informe de ensayo (Cuarto recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la calle 127c # 5-28, torre B apto 117, barrio “Altos de bella suiza”.
- d) La medición se realizó el día 13 de septiembre de 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 3.5 m de largo por 2.2 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 1.70 m de largo por 1.5 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $53.931m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $7.7 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 8. Índice de reducción sonora tercer recinto mampostería estructural

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	27,4
160	20,8
200	23,1
250	26,7
315	23,7
400	27,3
500	27,2
630	24,0
800	30,3
1000	27,5
1250	21,6
1600	26,6
2000	32,6
2500	35,5
3150	34,5
4000	35,7

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

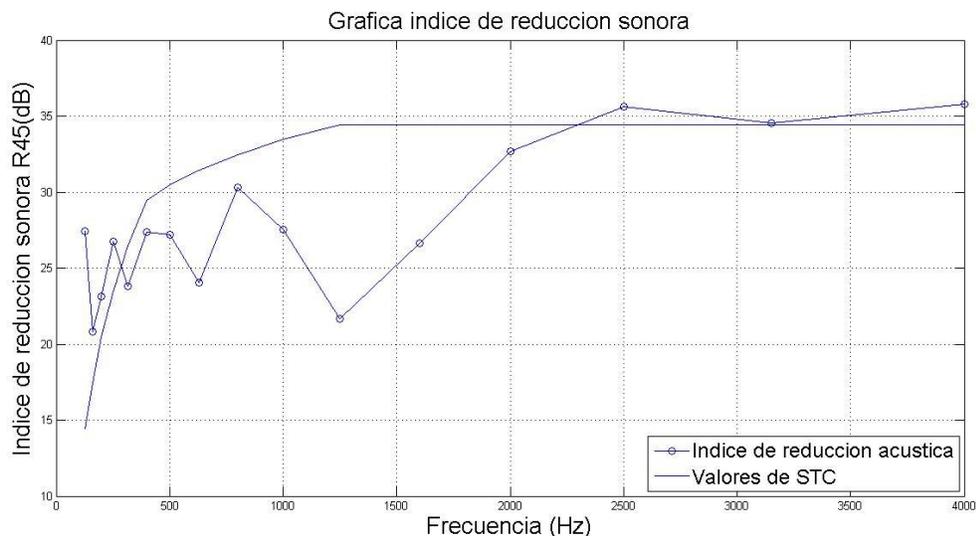
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 43.4 dB.

k) No se presentaron desviaciones.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 28. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema de construcción mampostería estructural.



Fuente: Grafica de índice de reducción sonora referente a la tabla 8

5.1.3 Informes de ensayo sistema de construcción aporicado

5.1.3.1 Informe de ensayo (Primer recinto)

- Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- Medición acústica realizada en la Calle 152 # 50 - 89, salón de actividades número 2, Parroquia “Jesucristo redentor”, barrio “Mazurén”.
- La medición se realizó el día 25 de abril del 2012.
- La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 10 m de largo por 2.5 m de alto con dos ventanas con vidrio y marco de metal de 3.63 m de largo por 1.68 m de alto para una y otra de 5.5 m de largo por 1.68 m.
- El volumen del recinto es de $115.064 m^3$.

g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $25 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 9. Índice de reducción sonora primer recinto sistema aporticado

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	10,9
160	7,1
200	11,9
250	11,4
315	13,4
400	15,5
500	19,5
630	17,5
800	13,8
1000	16,4
1250	14,0
1600	15,7
2000	17,1
2500	17,7
3150	20,7
4000	20,7

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

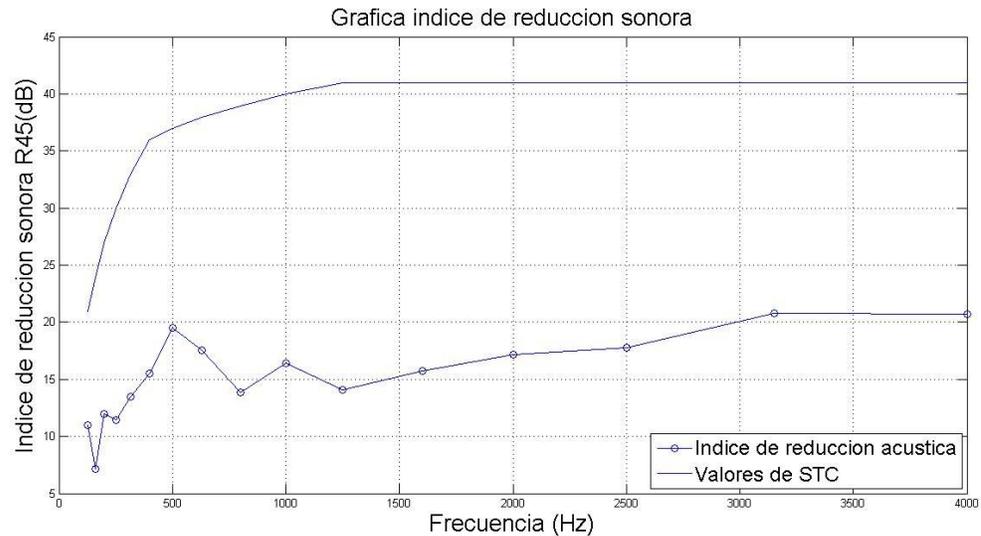
i) El método de medición implementado fue: "Método global con altavoces sobre fachada".

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 55.1 dB.

k) No se prestaron desviaciones de ningún tipo.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 29. Índice de reducción sonora primer recinto sistema de construcción aporcado



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 9

5.1.3.2 Informe de ensayo (segundo recinto)

- Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- Medición acústica realizada en la cra 10^a #138-32 interior 3, apto 106, barrio “Cedritos”.
- La medición se realizó el día 1 de noviembre de 2011.
- La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 2.75 m de largo por 2 m de alto con una ventanas con vidrio y marco de metal de 2m de largo por 1.51 m de alto.
- El volumen del recinto es de $57.912 m^3$.

g) La superficie de ensayo tiene una superficie de 3.02 m^2 .

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 10. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema aporticado

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	13,7
160	9,7
200	15,3
250	14,4
315	15,1
400	18,8
500	20,9
630	20,3
800	16,0
1000	19,8
1250	15,8
1600	18,6
2000	19,5
2500	20,7
3150	23,2
4000	23,1

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

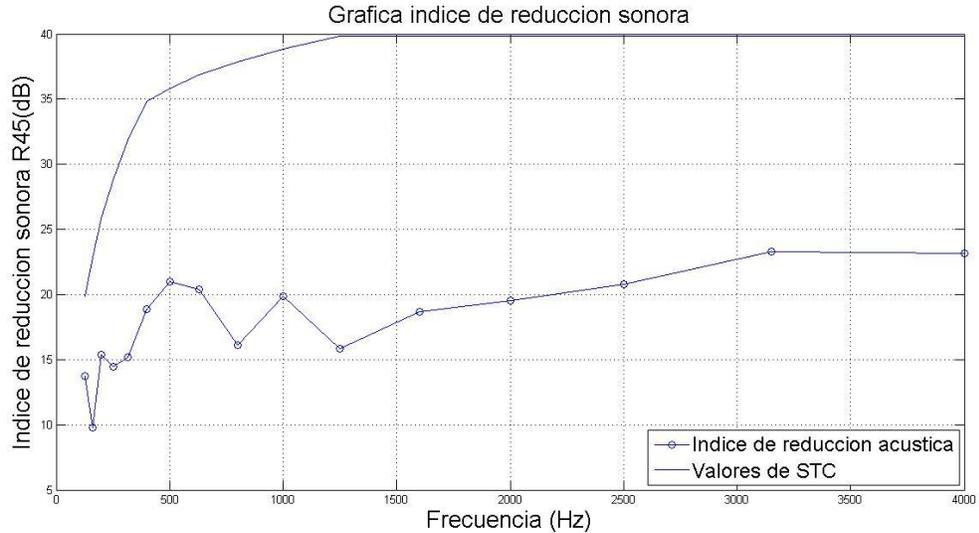
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 53.2 dB.

k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 30. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema de construcción aporricado



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 10

5.1.3.3 Informe de ensayo (Tercer recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones "In Situ" del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la calle 22^a # 27-15, apto 101, barrio "Paloquemao".
- d) La medición se realizó el día 2 de noviembre de 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro de bloques de ladrillo empañetado de 2.8 m de largo por 2.5 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 2.15 m de largo por 1.72 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $55.162 m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $7 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

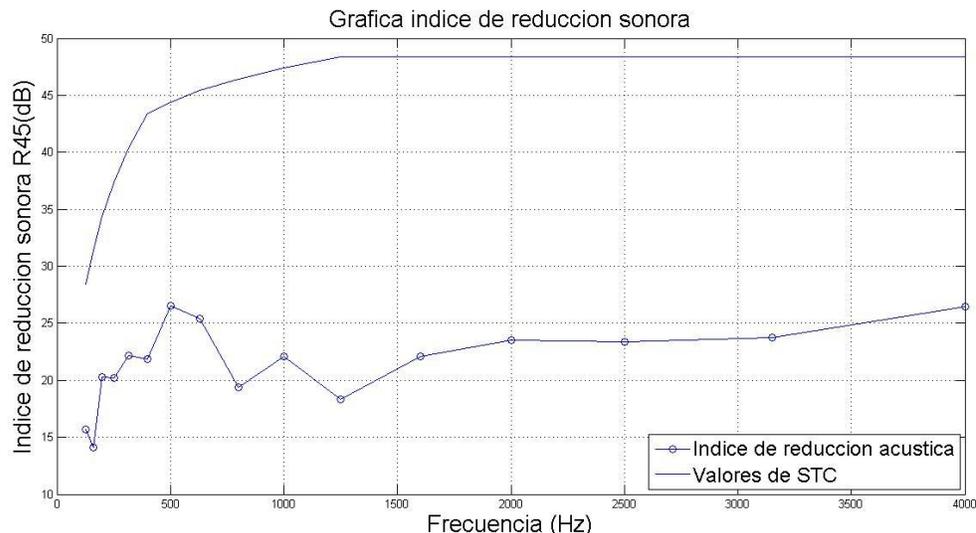
Tabla 11. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema aporticado

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	15,7
160	14,0
200	20,2
250	20,1
315	22,1
400	21,8
500	26,5
630	25,3
800	19,3
1000	22,1
1250	18,3
1600	22,0
2000	23,5
2500	23,3
3150	23,7
4000	26,4

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 56.3 dB.
- k) No se prestaron desviaciones de ningún tipo
- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 31. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema de construcción aporricado



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 11

5.1.3.4 Informe de ensayo (Cuarto recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la calle 127c # 5-26 apto 105, barrio “Altos de bella suiza”.
- d) La medición se realizó el día 13 de septiembre de 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste de un muro de bloques de ladrillo empañetado de 2.2 m de largo por 2.5 m de alto con una ventana con vidrio y marco de metal de 1.5 m de largo por 1.25 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $23.021 m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $5.5 m^2$.
- h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

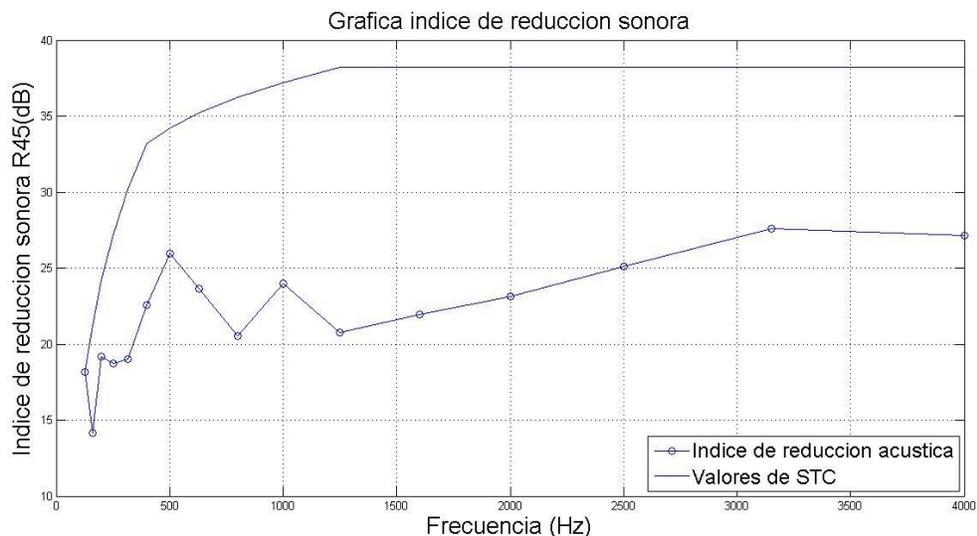
Tabla 12. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema aporticado

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	18,1
160	14,1
200	19,1
250	18,7
315	18,9
400	22,5
500	25,9
630	23,6
800	20,5
1000	23,9
1250	20,7
1600	21,9
2000	23,1
2500	25,1
3150	27,6
4000	27,1

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 51.6 dB.
- k) No se presentaron desviaciones de ningún tipo.
- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 32. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema de construcción aporticado



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 12

5.1.4 Informes de ensayo sistema de construcción Outinord

5.1.4.1 Informe de ensayo (Primer recinto)

a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.

b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.

c) Medición acústica realizada en la Calle 179 # 6-64, salón social, barrio “Bello horizonte norte”.

d) La medición se realizó el día 31 de octubre de 2011.

e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro concreto de 9.16 m de largo por 2.1 m de alto con: dos ventanas con vidrio y marco de metal de 2.48 m de largo por 1.78 m de alto y la otra ventana con vidrio de 1.48 m de largo y 1.39 m de alto y una puerta de vidrio con marco de metal de 1.46 m de largo y 2.1 m de alto.

f) El volumen del recinto es de $106.2973 m^3$.

g) La superficie de ensayo tiene una superficie de 19.236 m².

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 13. Índice de reducción sonora primer recinto sistema *outinord*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	18,7
160	18,4
200	19,9
250	14,8
315	19,5
400	16,3
500	17,7
630	15,3
800	15,1
1000	18,8
1250	18,3
1600	15,6
2000	14,8
2500	17,3
3150	18,5
4000	19,1

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

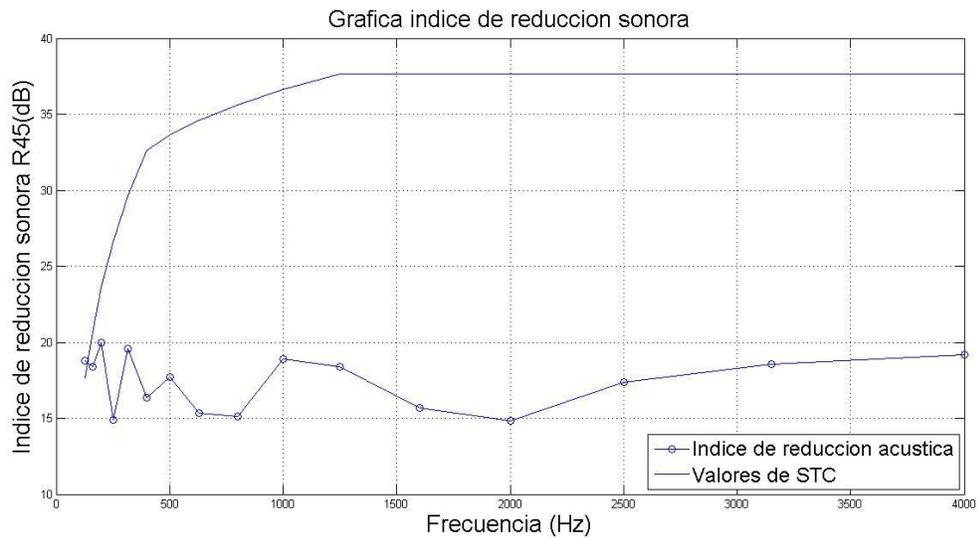
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 46.8 dB.

k) No se presentaron desviaciones de ningún tipo.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 33. Índice de reducción sonora primer recinto sistema de construcción outinord



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 13

5.1.4.2 Informe de ensayo (Segundo recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la Calle 55^a # 188-80 Salón social conjunto “Quintas de San Pedro”, barrio “Mirandela”.
- d) La medición se realizó el día 23 de abril del 2012.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro concreto de 5.08 m de largo por 2.1 m de alto con: una ventana con vidrio y marco de metal de 2.48 m de largo por 1.78 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $42.3191m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $10.668 m^2$.

h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

Tabla 14. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema *outinord*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	19,1
160	18,0
200	20,4
250	15,8
315	20,5
400	17,2
500	16,3
630	14,2
800	15,0
1000	17,6
1250	17,4
1600	15,1
2000	13,8
2500	16,0
3150	16,6
4000	17,8

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

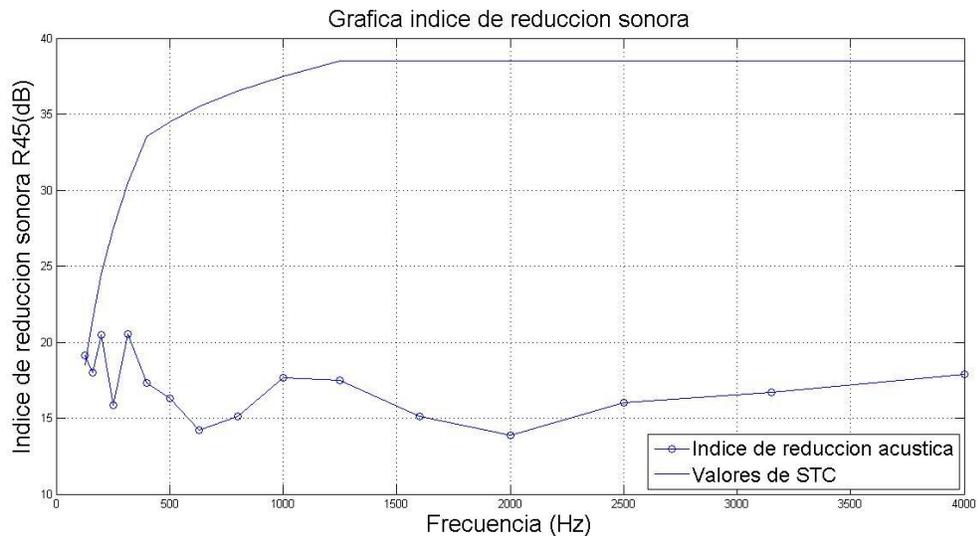
i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.

j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 42.1 dB.

k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.

- A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 34. Índice de reducción sonora segundo recinto sistema de construcción outinord



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 14

5.1.4.3 Informe de ensayo (Tercer recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones “In Situ” del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la Calle 159 # 56-75, Parque central Colina 2, Barrio “Mazurén”, apto 1201.
- d) La medición se realizó el día 24 de abril del 2012.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro concreto de 3.12 m de largo por 2.2 m de alto con: una ventana con vidrio y marco de metal de 2.25 m de largo por 1.6 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de $40.251m^3$.
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de $6.8640 m^2$.
- h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

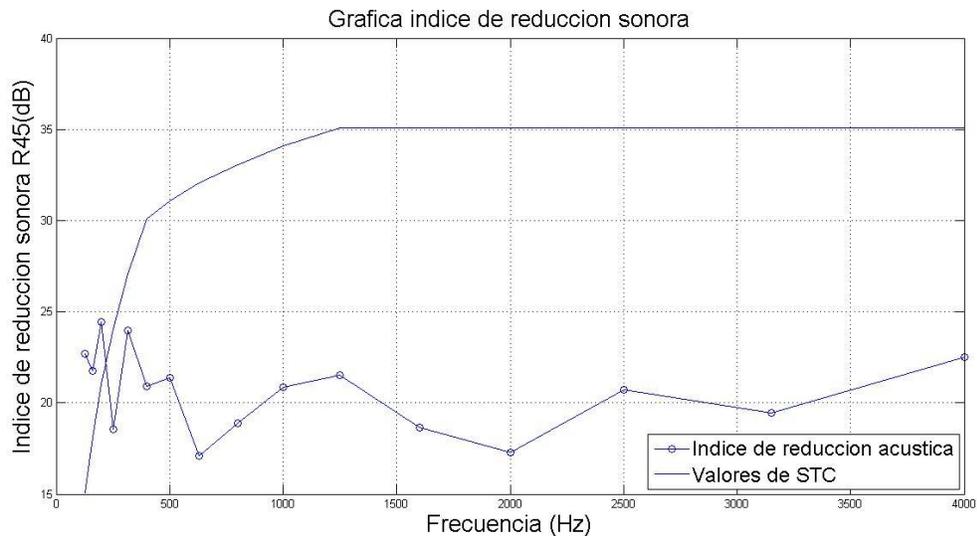
Tabla 15. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema *outinord*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	22,6
160	21,7
200	24,4
250	18,5
315	23,9
400	20,9
500	21,3
630	17,0
800	18,8
1000	20,8
1250	21,5
1600	18,6
2000	17,2
2500	20,7
3150	19,4
4000	22,4

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 42.1 dB.
- k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.
 - A continuación, se puede apreciar la gráfica del índice de reducción sonora en función de la frecuencia obtenida del recinto.

Figura 35. Índice de reducción sonora tercer recinto sistema de construcción outinord



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 15

5.1.4.4 Informe de ensayo (Cuarto recinto)

- a) Haciendo referencia a la norma ISO 140-5:1998 Medición del aislamiento acústico del edificio y de los elementos de construcción, parte 5: Mediciones "In Situ" del aislamiento acústico de ruido de aéreo de elementos de fachadas y fachadas.
- b) Medición realizada por: Juan Camilo Gutiérrez y Gary Toro.
- c) Medición acústica realizada en la Calle 127 c #6^a-55 apto 103 barrio bella suiza.
- d) La medición se realizó el día 14 de septiembre de 2011.
- e) La fachada sobre la cual se realizó la medición consiste en: un muro concreto de 4.1m m de largo por 2.2 m de alto con: una ventana con vidrio y marco de metal de 1.95 m de largo por 1.61 m de alto.
- f) El volumen del recinto es de 43.891 m^3 .
- g) La superficie de ensayo tiene una superficie de 8.8150 m^2 .
- h) El índice de reducción sonora según las mediciones es:

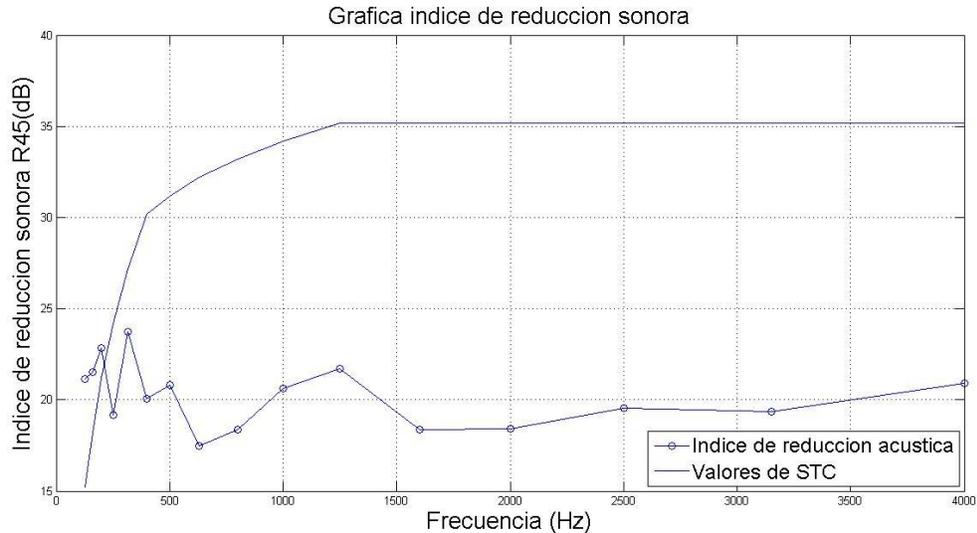
Tabla 16. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema *outinord*

Frecuencia [Hz]	Índice de reducción sonora [dB]
125	21,1
160	21,5
200	22,8
250	19,1
315	23,7
400	20,0
500	20,8
630	17,4
800	18,3
1000	20,6
1250	21,7
1600	18,3
2000	18,3
2500	19,5
3150	19,3
4000	20,9

Fuente: Cálculos del índice de reducción sonora obtenidos por los investigadores

- i) El método de medición implementado fue: “Método global con altavoces sobre fachada”.
- j) El ruido de fondo arrojó un dato ponderado de 46.2 dB.
- k) Se presentaron algunas desviaciones en cuanto a las distancias entre las diferentes posiciones de micrófono, debido a que la dimensión del recinto no era lo suficientemente amplia para que se cumplieran las distancias.
- A continuación, se pueden apreciar las gráficas del índice de reducción sonora en función de la frecuencia.

Figura 36. Índice de reducción sonora cuarto recinto sistema de construcción outinord



Fuente: Gráfica de índice de reducción sonora referente a la tabla 16

5.2 Cálculo de los valores STC, para cada sistema de construcción

Para el cálculo de los valores STC, se implementó un código en el software *MATLAB* versión 6.0, basándose en las ecuaciones y pasos para cálculo del STC propuesto según BARRON,⁶ el código se explica detalladamente en el anexo número dos.

A continuación, se presentan los pasos a seguir para calcular los valores STC:

- Paso 1: Medir el valor del TL por las bandas de tercio de octava, con frecuencias centrales desde 125 Hz hasta 4000 Hz.
- Paso 2: Calcular la diferencia correspondiente entre el STC-50 curva estándar S_{50} y el TL en cada banda de frecuencia por tercio de octava, donde:

$$\Delta = S_{50} - TL$$

Ecuación 12. Diferencia entre curva estándar S_{50} y TL

- Paso 3 : Calcular la primera estimación para la clasificación STC (STC_1), de la siguiente expresión:

6 RANDALL F. BARRON, Industrial Noise Control and Acoustics. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 2003.p.147.

$$STC_1 = 50 - (\Delta)_{max} + 8 = 58 - (\Delta)_{max}$$

Ecuación 13. Estimación del valor para STC_1

La cantidad $(\Delta)_{max}$ es la más grande (algebraicamente) valor de las diferencias Δ . El cálculo en el paso 3 reúne el primer requisito de la clasificación STC, es decir, ninguno de los puntos experimentales se encuentran por debajo de 8 dB de la curva estándar.⁶

- “Paso 4: Determinar las deficiencias en cada punto experimental, donde la deficiencia Def se define por la siguiente ecuación”:

$$Def = S_{50} - (50 - STC_1) - TL = \Delta - (50 - STC_1)$$

Ecuación 14. Deficiencia entre la curva estándar STC para STC_1 y los puntos de datos experimentales para la pérdida de transmisión

La deficiencia es la diferencia entre la curva estándar STC para STC_1 y los puntos de datos experimentales para la pérdida de transmisión. Un valor positivo de la deficiencia corresponde a un punto por debajo de la curva estándar.⁶

- Paso 5: Sumar todos los valores positivos de las deficiencias, que son los valores que se encuentran por debajo de la primera estimación de la curva (STC_1).
- Paso 6:
(A) Si la suma de los valores positivos de la deficiencia es de 32 dB o menos, el STC es igual al valor de la primera estimación STC_1 :

Si

$$\Sigma(+Def) \leq 32 \text{dB} , \text{ luego } STC = STC_1$$

6 RANDALL F. BARRON, Industrial Noise Control and Acoustics. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 2003, p-14.

Figura 37. Valores para la curva estándar STC-50

TABLE 4-4 Values for the Standard STC-50 Curve.

1/3 Octave band		1/3 Octave band	
center frequency, Hz	S_{50} , dB	center frequency, Hz	S_{50} , dB
125	34	800	52
160	37	1,000	53
200	40	1,250	54
250	43	1,600	54
315	46	2,000	54
400	49	2,500	54
500	50	3,150	54
630	51	4,000	54

Fuente: RANDALL F. BARRON, Industrial Noise Control and Acoustics

Este cálculo se encuentra con el segundo criterio para la clasificación STC, es decir, la suma de las deficiencias (desviaciones de la curva STC) no debe ser mayor a 32 dB.

(B) Por otro lado, si la suma de los valores positivos de las deficiencias es mayor que 32 dB, la primera estimación de la STC se debe ajustar para cumplir con el criterio STC.

$$\text{Si } \sum(+\text{Def}) > 32\text{dB}$$

A continuación calcular el ajuste:

$$\text{Adj} = \frac{\sum(+\text{Def}) - 32\text{dB}}{Npd}$$

Ecuación 15. Cálculo del ajuste para primera estimación del STC

La cantidad NPD es el número de valores positivos de las deficiencias. El ajuste *Adj* se redondea al entero más próximo. El STC (Sound Transmission Class) se encuentra aplicando el ajuste a la estimación inicial para STC.⁶:

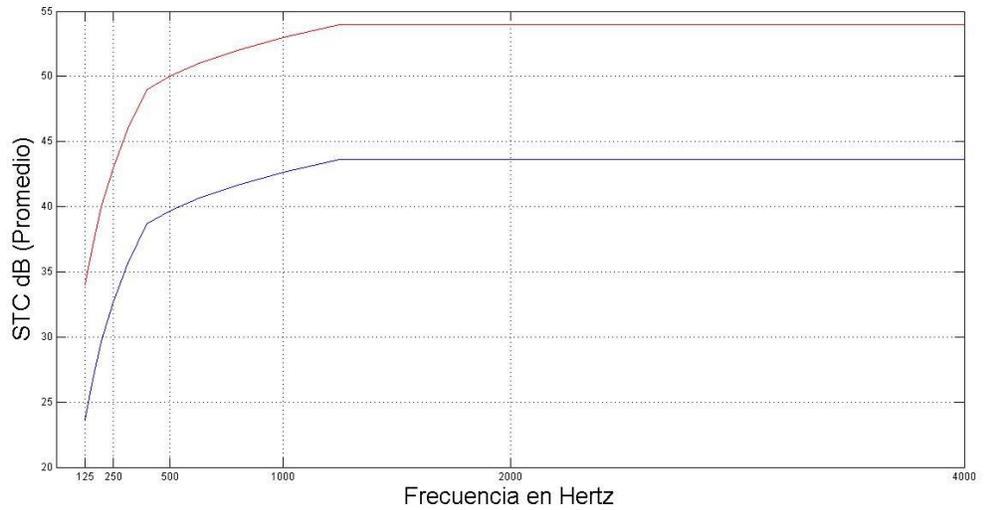
$$\text{STC: } STC_1 - Adj$$

6 RANDALL F. BARRON, Industrial Noise Control and Acoustics. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 2003.p.147-148

5.3 Análisis de las curvas STC por cada sistema de construcción

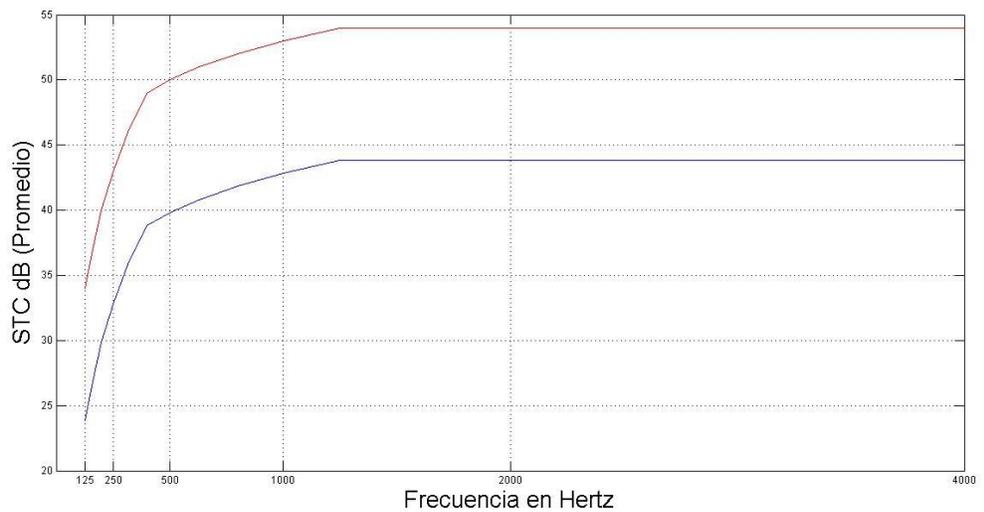
Curva STC *Con-tech*

Figura 38. STC total sistema de construcción *con-tech*.



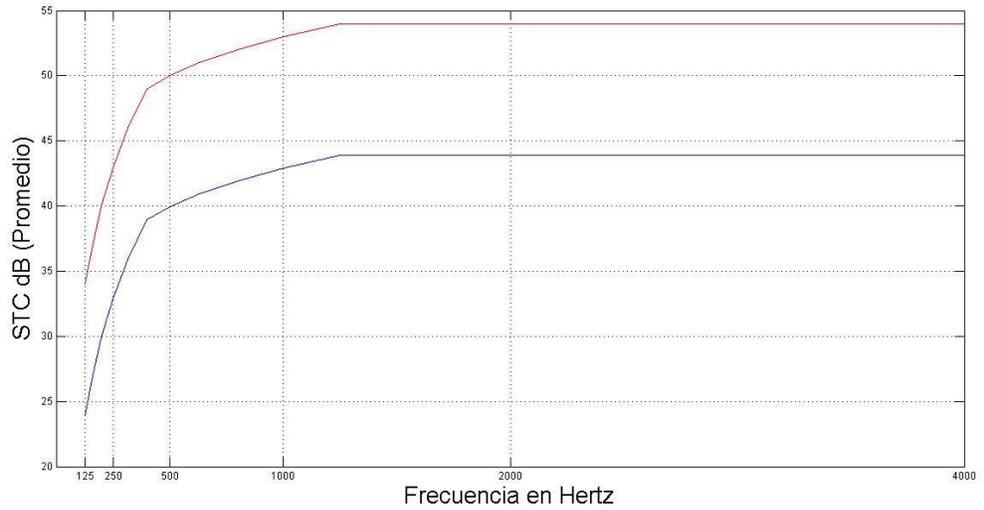
Curva STC Mampostería estructural

Figura 39. STC total sistema de construcción mampostería estructural.



Curva STC Aporticado

Figura 40. STC total sistema de construcción Aporticado.



Curva STC Outinord

Figura 41. STC total sistema de construcción *Outinord*.

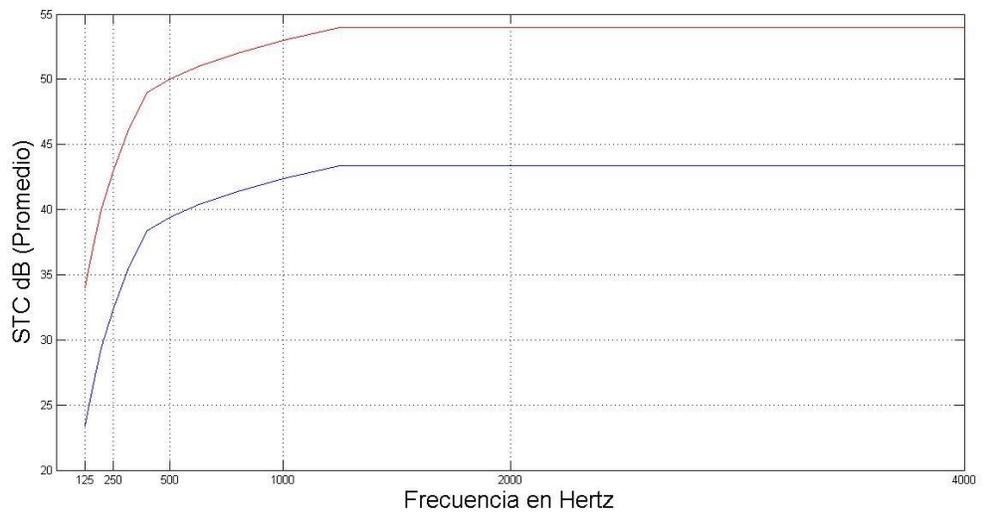


Tabla17. Tabla comparativa valores STC entre sistemas de construcción aporticado, *con-tech*, mampostería estructural y *outinord*

Sistema de construcción	STC
Aporticado	40
Con-tech	38.8
Mampostería estructural	39.6
Outinord	38

A continuación se presentan las tablas de STC estándares:

Tabla 18. Valores STC, que puede ser escuchado

STC	What can be heard
25	Normal speech can be understood quite easily and distinctly through wall
30	Loud speech can be understood fairly well, normal speech heard but not understood
35	Loud speech audible but not intelligible
40	Onset of "privacy"
42	Loud speech audible as a murmur
45	Loud speech not audible; 90% of statistical population not annoyed
50	Very loud sounds such as musical instruments or a stereo can be faintly heard; 99% of population not annoyed.
60+	Superior soundproofing; most sounds inaudible

Fuente: STC partition ratings taken from: "Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architects and Engineers"; Cyril M. Harris, 1994

Los sistemas que se analizaron presentan materiales similares dentro de las construcciones, las cuales a su vez se enmarcan dentro de la región donde una conversación en voz alta puede ser escuchada pero no entendida, según los valores STC estándares. A pesar del confort acústico que presentan estas construcciones, se podría mejorar aun más el aislamiento si las constructoras implementaran un grosor más amplio en lo que a ventanas se refiere, ya que el vidrio ocupa gran parte de la superficie efectiva de absorción. Los sistemas

aporticado y mampostería estructural presentan el problema de que utilizan ladrillo hueco en la mayoría de los casos, todo esto por ahorrar costos para la constructora, si se implementaran siempre ladrillos macizos, incrementaría drásticamente el aislamiento acústico.

Tabla 19. Valores STC dependiendo del tipo de partición

STC	Partition type
33	Single layer of 1/2" drywall on each side, wood studs, no insulation (typical interior wall)
39	Single layer of 1/2" drywall on each side, wood studs, fiberglass insulation
44	4" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit)
45	Roxul Safe'n'Sound Insulation installed between wood 2 x 4 studs on 16" centers and 5/8" drywall (type x) on each side with resilient channels at 16" on one side
45	Double layer of 1/2" drywall on each side, wood studs, batt insulation in wall
46	Single layer of 1/2" drywall, glued to 6" lightweight concrete block wall, painted both sides
46	6" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit)
48	8" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit)
50	10" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit)
52	8" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit) with 2" Z-Bars and 1/2" Drywall on each side
52	Roxul Safe'n'Sound Insulation installed between steel 2 x 4 studs on 24" centers and 5/8" drywall (type x) on each side
54	Single layer of 1/2" drywall, glued to 8" dense concrete block wall, painted both sides
54	8" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit) with 1 1/2" Wood Furring, 1 1/2" Fiberglass Insulation and 1/2" Drywall on each side
55	Double layer of 1/2" drywall on each side, on staggered wood stud wall, batt insulation in wall
59	Double layer of 1/2" drywall on each side, on wood stud wall, resilient channels on one side, batt insulation
63	Double layer of 1/2" drywall on each side, on double wood/metal stud walls (spaced 1" apart), double batt insulation
64	8" Hollow CMU (Concrete Masonry Unit) with 3" Steel Studs, Fiberglass Insulation and 1/2" Drywall on each side
72	8" concrete block wall, painted, with 1/2" drywall on independent steel stud walls, each side, insulation in cavities

Fuente: STC partition ratings taken from: "Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architects and Engineers"; Cyril M. Harris, 1994

5.4 ERRORES SISTEMÁTICOS

- Al momento de realizar las mediciones, en algunos recintos las dimensiones no eran lo suficientemente amplias para realizar la medición del tiempo de reverberación según la grilla planteada por la norma ISO 140-5:1998.
- Como resultado de que los cálculos se realizaron con funciones hechas en MATLAB, se corre el riesgo de poseer errores de redondeo en los datos, debido a la conversión realizada durante la computación, de decimal a binario y viceversa.
- Durante la realización de las mediciones del índice de reducción de la fachada, con los sonómetros ubicados en el local y en el exterior, debido a la arquitectura y distribución de tomas de corriente, se mandaban los cables por ventanas, lo cual impedía que estas se cerrasen totalmente y por consiguiente esto pudo afectar los datos de presión sonora obtenidos al interior del local, los posteriores cálculos y obtención de resultados.

6. CONCLUSIONES

- De los resultados y análisis de las mediciones se puede concluir que a pesar de las similitudes, el sistema aporticado presenta el mejor aislamiento a ruido aéreo en la fachada.
- El sistema de construcción aporticado, a pesar de que se tarda más tiempo en llevar a cabo una construcción, presenta el mejor aislamiento a ruido aéreo en la fachada debido a que se combinan materiales como ladrillo y columnas de concreto.
- El aislamiento en los sistemas de construcción tipo mampostería, dependen de qué tipo de ladrillo usen, siendo que, si se utiliza ladrillo hueco va a tener menor aislamiento acústico que si se utilizaran bloques de ladrillo macizos.
- Los sistemas industrializados in-situ, *outinord* y *con-tech* presentan problemas en cuanto a ruido de impacto se refiere, debido a que toda la estructura está conectada entre sí.
- Hay una diferencia notable entre los sistemas de construcción *Outinord* y *Cont-tech*, pues el primer sistema permite acabados con ladrillo sumándole la estructura de concreto, en cambio el sistema *Con-tech* no lo permite.
- El método estadístico fue el más apropiado para poder realizar el análisis comparativo de los diferentes sistemas de construcción y así poder determinar cuál se comporta mejor frente al aislamiento acústico.
- Si en los sistemas de construcción se implementan ventanas muy grandes, esto hará que el aislamiento sea menor, a no ser que se use un espesor para las ventanas considerable para tener buen aislamiento. Es aconsejable que pueda reducir la energía a la mitad.
- El índice de reducción sonora en la fachada tiende a aumentar inversamente al volumen y directamente a la superficie de la fachada.
- Cuanto más alto sea el valor de STC, mayor será el aislamiento que presenta la fachada o partición.
- A pesar de las diferencias, éstas no son muy grandes de modo que el aislamiento acústico de los sistemas no difieren considerablemente entre sí.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se use ladrillo, procurar que el ladrillo no sea hueco, y si es hueco rellenarlo con frescasa o algún material absorbente.
2. Para los sistemas Outinord y Con-tech se recomienda, luego de finalizar la estructura, dejar todos los recintos despegados de la estructura, usando sistema *box in a box*, ya que estos dos sistemas de construcción presentan graves problemas frente a ruido de impacto, debido a que toda la estructura está conectada entre sí.
3. Deben rellenarse las llagas y juntas horizontales con mortero según las especificaciones que el fabricante de las piezas brinde.
4. Se deben rellenar con mortero todas las rozas hechas para paso de instalaciones.
5. Para los sistemas en general, es concluyente recomendar que el área de la ventana en una fachada, no cubra más del 70% de la superficie para no reducir la superficie efectiva de aislamiento, debido a que los materiales más densos como el ladrillo o el concreto, aíslan más que el vidrio. De lo contrario, se recomienda utilizar un vidrio de un espesor adecuado para obtener un aislamiento mayor a 3 dB.
6. Se recomienda que al momento de realizar la medición en el recinto para hallar el tiempo de reverberación, no se utilice el método propuesto por la norma internacional ISO 140-5, el cual es por método de fuente interrumpida, por el contrario, úsese la norma **ISO 3382:1997** *Acoustics -- Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILÓ, Alonso, M., et alt. “Prefabricación: Teoría y práctica”. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1974.
- CARRION ISBERT, Antoni. “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”. Alfaomega, Barcelona, 2001.
- CYRIL, Harris. “Manual de medidas acústicas y control de ruido Vol. 1”. McGraw Hill, 1998.
- EVEREST, Alton. “Master handbook of acoustics”. McGraw Hill, Cuarta edición, 2001.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO CONCRETO. “Tecnología del concreto”. Editorial Limusa, México, 1989.
- ISO 140-5:1998 Acoustics – “Measurement of sound insulation in buildings and of building elements” -- Part 5: “Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades”.
- ISO 354:1985_Acoustics – “Measurement of sound absorption in a reverberation room”.
- NORMAS ICONTEC, NTC 1486. “Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación”. Colombia: Documentación, 2002.
- RANDALL F, Barron. “Industrial Noise Control and Acoustics”. Marcel Dekker, Inc, Estados Unidos, 2003.
- RECUERO LOPEZ, Manuel. “Acústica arquitectónica aplicada”. Paraninfo, Segunda edición.

- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. “Industrialización de la construcción”. Magíster ingeniería civil, Área de ingeniería y gerencia de la construcción (MICIGC). En <http://micigc.uniandes.edu.co>.
- NORMAS ICONTEC, NTC 5613. “Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura”. Colombia: Documentación, 2008-07-23.

ANEXOS

ANEXO 1

Utilizando el software MATLAB versión 6.0, se implementaron los siguientes códigos para la realización de algunos de los cálculos que se emplearon durante el desarrollo del proyecto.

Cálculo del índice de reducción sonora aparente:

```
function [Rp]=IndicR(p2,p1,t,Vol)
%Función para el cálculo del índice de reducción sonora, según ISO-140-5
%Elaborada por: JUAN CAMILO GUTIERREZ y GARY TORO.
%Función cuya finalidad es obtener los valores de índice de reducción
%sonora según las bandas estipuladas, y cuyos argumentos de entrada son:
%p1, presión sonora al interior, p2, presión sonora al exterior, t es
%el tiempo de reverberación, S superficie de la fachada a evaluar, Vol
%volumen del lugar.
a=(0.16*Vol)/t;
a0=10;
anb=length(p1);
Rp(anb)=0;
for n=1:anb %Ciclo para realizar el cálculo del índice según la norma.\
    D2m=p2(n)-p1(n);
    Rp(n)=D2m-(10*(log10(a/a0)));
end
```

Cálculo STC método BARRON

```
function [STC STCn]=STCbarron(TL)
%Función para el cálculo de STC basado en el libro "Industrial noise %control and
%acoustics - Barron".
%Elaborada por: GARY TORO y JUAN CAMILO GUTIERREZ.
%Descripción: Algoritmo implementado con el fin de realizar los cálculos
%del valor STC basándose en el libro de Barron anteriormente mencionado. Tiene
%como argumento de entrada la variable TL, cuyo requisito para poder
%obtener un resultado fiable es que TL debe ser una matriz de (f) filas por
%(c) columnas en donde cada columna representa una frecuencia, este valor
%debe ser estrictamente de 16 de lo contrario no realiza el calculo y muere
%el algoritmo, y cada fila representa un paquete de valores del TL
%experimental, en su respectiva frecuencia, si existe mas de una fila, quiere
%decir que existe más de un paquete de valores de TL. La función retorna:
%un vector de (f) fila por (c) columnas, donde es (f) o el numero de
```

```

%paquetes de valores de TL y las columnas cada frecuencia y un el valor de la
%curva STC obtenida.
freq=[125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150
4000];
%Vector de frecuencia por terico de octava
stc50=[34 37 40 43 46 49 50 51 52 53 54 54 54 54 54];%Valores del STC50
[f c]=size(TL);%Tamano del vector TL.
if c~=length(freq)%Si no coincide el valor de las columnas en TL y el numero de
frecuencias, no continua y arroja mensaje de error.
    error('El vector debe coincidir con el estándar STC50')
end
STCn(f)=0;%Inicialización del vector para la clasificación del STC.
STC(f,c)=0;%Inicialización del vector para el STC.
for guess=1:f%Ciclo para realizar el cálculo del STC según la cantidad mediciones.
    delta=stc50-TL(guess,:);%cálculo de la diferencia entre STC50 y el TL.
    STC1=58-max(delta);%calculo de STC1.
    Def=delta-(50-STC1);%diferencia de STC1 y los datos experimentales.
    SDefp=0;
    NDp=0;%Variable tipo guess para la cantidad de defs positivos.
    for n=1:length(Def)%Ciclo para el cálculo de la suma de los valores positivos
de Def.
        if Def(n)>0
            SDefp=SDefp+Def(n);
            NDp=NDp+1;%Incremento para determinar la cantidad de defs positivos
        end
    end
    if SDefp<=32%Condional para determinar cuando la suma de los defs
        %positivos es menor o igual a 32.
        STCn(guess)=STC1;%STC es igual a STC1.
    else %Si no es menor o igual a 32 la suma de los defs positivos.
        Adj=ceil((SDefp-32)/NDp);%se realiza este ajuste
        STCn(guess)=STC1-Adj;%STC es STC1 menos este ajuste
    end
    for m=1:length(stc50)%Determinación de STC dependiendo de la curva
obtenida
        STC(guess,m)=stc50(m)-STCn(guess);
    end
end
end

```

Función para calcular el nivel de presión de Sonora partiendo de la presión.

```

function [SPL]=pres2spl(prs)
%Función pres2spl para transformar de presión a SPL
% Elaborada por: GARY TORO Y JUAN CAMILO GUTIERREZ.

```

```

%Descripción: función para realizar la transformación de presión en Pascales
%a nivel de presión sonora (SPL) en dBs con argumento de entrada prs el
%cual es la presión y valor de retorno SPL el cual es el nivel de presión
%sonora correspondiente.
p0=20e-6;%presión de referencia.
L=length(prs);
SPL(L)=0;
for l=1:L %Ciclo para calcular el SPL con base en la presión.
    SPL(l)=20*log10(prs(l)/p0);
end

```

Función para calcular la presión partiendo del nivel de presión Sonora.

```

function [pr]=spl2prs(spl)
%Función pres2spl para transformar de SPL a presión.
% Elaborada por: GARY TORO Y JUAN CAMILO GUTIERREZ.
%Descripción: función para realizar la transformación de nivel de presión
%sonora (SPL) en dBs a presión en Pascales con valor de retorno pr el
%cual es la presión y argumento de entrada spl el cual es el nivel
%de presión sonora correspondiente.
p0=20e-6;%presión de referencia.
L=length(spl);
pr(L)=0;
for l=1:L %Ciclo para calcular la presión con base en el SPL.
    pr(l)=(10^(spl(l)/20))*p0;
end

```