



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SONIDO Y ACÚSTICA

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA DE
CONCRETO ACÚSTICA”

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos para optar
por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor guía

Ing. Christiam Garzón MSc

Autor

Pablo Arturo Vega Vásquez

Año

2013

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema y tomando en cuenta la Guía de Trabajos de Titulación correspondiente”.

Ing. Christiam Garzón

Master en Acústica

171364462-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Pablo Arturo Vega Vásquez
172345925-9

AGRADECIMIENTO

Primero a mis padres Arturo Vega y Cecilia Vásquez por su constante e incondicional apoyo, amor y comprensión durante toda mi vida, a mis hermanos por haberme acompañado de una u otra manera en este proceso estudiantil que empezó hace mucho tiempo y seguirá en el futuro, a mi novia Mishel Mantilla por su comprensión y paciencia en este gran paso de mi vida, a mi primo hermano Luis Vega por sus consejos que ayudaron a empezar con pie derecho la tesis, y por último y no por este motivo menos importantes al resto de mi familia y amigos.

DEDICATORIA

Este documento esta dedicado en su totalidad a mis padres Cecilia Vásquez y Arturo Vega, sin ellos hubiera sido imposible llegar a este punto de mi vida.

A mi padre Arturo Vega por ser ese amigo y compañero incondicional de proyectos, siempre dándome la mano en cualquier trabajo que quería emprender sin poner ninguna excusa para estar a mi lado en todo momento.

A mi madre Cecilia Vásquez por siempre ser el punto de equilibrio en mi vida, por ser la amiga en quien más confío, y quién siempre hizo que piense dos veces antes de realizar cualquier cosa. Por ser esa madre amorosa que nadie en la vida podría alguna vez poseer.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la fabricación de una unidad de mampostería de concreto (UMC), o comúnmente conocido como bloque de hormigón, que posea propiedades acústicas de aislamiento, absorción y difusión.

Las UMC en el Ecuador carecen de diseños con propósitos específicos, debido a esto, nace la necesidad de elaborar un proyecto que indague las diferentes opciones existentes en el mercado, tanto nacional como internacional, para de esta manera determinar la posibilidad de agregar el factor acústico en este elemento.

Aspectos relacionados a la dimensión de la unidad, densidad, textura y elementos adicionales son tratados para abordar de mejor manera la investigación, y de esta forma las decisiones que se tomen sean las más adecuadas. Se abordará los puntos anteriores refiriéndose a normas internacionales como ISO o ASTM.

Las características acústicas que aporte la UMC representarán un avance para la forma en que se realiza la construcción actualmente en el Ecuador, debido a esto, la evaluación se realizará regida por normas para sustentar el trabajo y entregar un elemento que optimice diferentes etapas en el levantamiento de edificaciones.

ABSTRACT

This work proposes the manufacture of a Concrete Masonry Unit (CMU), or well-known as a block made of concrete, which owns acoustic features such as isolation, density, absorption and diffusion.

Since the CMU does not have suitable designs with specific goals in Ecuador, the need of a project design has appeared. The main goal is to enquire national as well as international market demands, in this way it could be determined the possibility of adding an acoustic constituent on the CMU.

Some aspects related to this unit like dimension, texture and extra elements have been treated in order to tackle the study in a better way; consequently, the decisions making procedure will be the most suitable. Moreover, the previous arguments have been studied under what international standards such as ISO or ASTM establish.

The acoustic features that CMU contributes will represent a development, which could be taken into account for construction process in Ecuador, besides the evaluation will be regulated by some standards in order to support this study and provide an element which improves the building process.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1.FUNDAMENTOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO	5
1.1.1. Definiciones Importantes.....	5
1.1.1.1. Unidad de Mampostería de Concreto (UMC)	5
1.1.1.2. Fábrica	5
1.1.1.3. Mezclado.....	6
1.1.1.4. Trabajabilidad del Concreto	6
1.1.1.5. Exudación del Concreto.....	7
1.1.1.6. Consolidación del Concreto	7
1.1.2. Tipos de Unidades de Mampostería	7
1.1.2.1. Bloque de Árido Denso (BAD)	8
1.1.2.2. Bloques de Árido Ligero (BAL)	9
1.1.3. Fabricación de Unidades de Mampostería de Concreto.....	10
1.1.3.1. Materias Primas	10
1.1.3.2. Mezcla.....	13
1.2.FUNDAMENTOS DE AISLAMIENTO, ABSORCIÓN Y DIFUSIÓN ACÚSTICA.....	14
1.2.1. Definiciones Importantes.....	14
1.2.1.1. Sonido.....	14
1.2.1.2. Presión Acústica	14
1.2.1.3. Frecuencia y Período.....	15
1.2.1.4. Velocidad del Sonido	15
1.2.1.5. Longitud de Onda	16
1.2.1.6. Impedancia Acústica.....	16
1.2.2. Aislamiento Acústico	17
1.2.2.1. Índice de Reducción Aparente ($R'w$)	17
1.2.2.2. Ley de la Masa.....	18
1.2.3. Absorción Acústica.....	19

1.2.3.1. Tipos de Absorbentes Acústicos.....	19
1.2.4. Difusión Acústica.....	22
1.2.4.1. Difusores Policilíndricos y Geométricos.....	23
1.2.4.2. Difusores Schroeder	23
1.2.4.3. Difusor de Residuo Cuadrático Unidimensional y Bidimensional o QRD	24
1.2.4.4. Difusor de Raíz Primaria o PRD	26
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	28
2.1.DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES ADECUADAS PARA LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO ACÚSTICA	28
2.1.1. Dimensión vs Difusión.....	29
2.1.1.1. Implementación de un Difusor Policilíndrico vs Dimensión de la UMC.....	29
2.1.1.2. Implementación de un Difusor Geométrico vs Dimensión de la UMC.....	30
2.1.1.3. Implementación de un Difusor MLS vs Dimensión de la UMC	30
2.1.1.4. Implementación de un QRD vs Dimensión de la UMC	31
2.1.1.5. Implementación de un PRD vs Dimensión de la UMC	34
2.1.2. Dimensión vs Absorción.....	37
2.1.2.1. Implementación de Absorbentes Porosos vs Dimensión de la UMC.....	37
2.1.2.2. Implementación de un Resonador de Helmholtz vs Dimensión de la UMC	38
2.1.3. Dimensión vs Aislamiento	46
2.2.DISEÑO DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO ACÚSTICA ..	47
2.2.1. Implementación de los Elementos Acústicos en la UMC.....	52
2.2.2. Métodos de Fabricación Disponibles para la UMC Acústica.....	60
2.2.3. Fabricación del Molde para la UMC Acústica	62
2.2.4. Contenido de la Mezcla de Materiales para Fabricar la UMC Acústica	68
2.2.5. Mediciones de las Propiedades Acústicas de la UMC Acústica	68
2.2.5.1. Difusión Acústica en la UMC	68

2.2.5.2. Absorción Acústica en la UMC	69
2.2.5.3. Aislamiento Acústico en la UMC	75
2.2.6. Valores Óptimos de Aislamiento vs UMC Acústica	83
2.2.7. Comparación de la UMC Acústica vs Tipos de Construcción de Mampostería Común	85
2.2.8. Posibles Configuraciones de la UMC Acústica	87
3. SONDEO DEL MERCADO	88
4. COSTO/BENEFICIO	91
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. CONCLUSIONES	94
5.2. RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS	98
ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificación Construida con Unidades de Mampostería Acanaladas.....	5
Figura 2. Fábrica	6
Figura 3. Trabajabilidad del Concreto	7
Figura 4. Bloque de Hormigón Hueco	8
Figura 5. Bloque Universal	9
Figura 6. Bloque Multicámara de Áridos Densos o Ligeros	9
Figura 7. Aridos para UMC (Cascajo)	13
Figure 8. Mezcladora.....	13
Figure 9. Valores de la Curva de Referencia de Aislamiento de Ruido Aéreo.....	18
Figura 10. Ley de la Masa	19
Figura 11. Espuma Acústica de Poliuretano	20
Figura 12. Resonadores de Helmholtz en Cabina de Grabación.....	21
Figura 13. Difusor MLS	24
Figura 14. Difusor QRD Unidimensional	24
Figura 15. Difusor MLS para Implementar en la UMC Acústica.....	54
Figura 16. Difusor MLS Implementado en la UMC.....	55
Figura 17. Abertura Rectangular en la UMC	56
Figura 18. Cámaras de Aire Implentados en la UMC.....	60
Figura 19. Bloquera con Prensado Hidráulico y Vibración en 2 Ejes.....	62
Figura 20. Dimensiones de las dos UMC Acústicas en Centímetros.....	63

Figura 21. Vista Isométrica y Dimensiones Individuales de la Primer UMC Acústica	64
Figura 22. Vista Isométrica y Dimensiones Individuales de la Segunda UMC Acústica	65
Figura 23. Electrodo 6011	66
Figura 24. Vaciados	67
Figura 25. Paredes de Molde (secuencia MLS).....	67
Figura 26. Orejas para Sujeción a la Chumatera	67
Figura 27. Medición de Tiempo de Reverberación con Muestra.....	70
Figura 28. Medición Tiempo de Reverberación sin Muestra.....	71
Figura 29. Medición de Tiempos de Reverberación para Absorción Acústica de la UMC	72
Figura 30. Coeficiente de Absorción α_s por Banda de Tercio de Octava de la UMC Acústica.....	74
Figura 31. Coeficiente de Absorción Equivalente Unitario	75
Figura 32. Diagrama de Medición X= Micrófono O= Fuente.....	77
Figura 33. Medición de Aislamiento de la Partición	77
Figura 34. Comparación Contorno Vs Medición	79
Figura 35. Fábrica con Unidades de Mampostería Acústicas.....	79
Figura 36. Posibles Configuraciones de la UMC Acústica en una Fábrica de 209x234 cm.....	87
Figura 37. Implementación de una Fábrica para Medir Aislamiento	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones Estándar de Diferentes UMC en Milímetros.....	28
Tabla 2. Evaluación para la Implementación de un Difusor Pilicilíndrico en la UMC	29
Tabla 3. Evaluación para la Implementación de un Difusor MLS en la UMC.....	30
Tabla 4. Evaluación para la Implementación de un Difusor MLS en 2 UMC	31
Tabla 5. Distribución de Alturas para el Difusor QRD	31
Tabla 6. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=5$ en la UMC	32
Tabla 7. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=7$ en la UMC	32
Tabla 8. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=11$ en la UMC	32
Tabla 9. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=13$ en la UMC	33
Tabla 10. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=17$ en la UMC.	33
Tabla 11. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=19$ en la UMC	33
Tabla 12. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=23$ en la UMC	34
Tabla 13. Asignación de Alturas para el Difusor PRD.....	34
Tabla 14. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=5$ y $g=2$ en la UMC	35

Tabla 15. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=7$ y $g=3$ en la UMC	35
Tabla 16. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=11$ y $g=2$ en la UMC	35
Tabla 17. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=13$ y $g=2$ en la UMC	36
Tabla 18. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=17$ y $g=3$ en la UMC	36
Tabla 19. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=19$ y $g=2$ en la UMC	36
Tabla 20. Evaluación de Espacio Disponible en la UMC para Insertar Absortores Porosos.....	38
Tabla 21. Tipos de UMC y Espesores de las Paredes en Milímetros	39
Tabla 22. Intervalos de Volúmenes Internos en la UMC.....	39
Tabla 23. Posibles Frecuencias Afectadas por la Implementación de una Abertura Rectangular con Longitud de Cuello Igual al Espesor en una de las Caras de la UMC	41
Tabla 24. Dimensiones Internas de la UMC.....	42
Tabla 25. Ancho Interno de la UMC con la Pared Interna.....	42
Tabla 26. Ancho Específico para una UMC con 2	42
Tabla 27. Ancho Específico para una UMC con 3	43
Tabla 28. Evaluación de λ en la UMC para la Implementación de un Resonador .	43
Tabla 29. Evaluación de λ en la UMC para la Implementación de un Resonador .	43
Tabla 30. Evaluación de Anchos Disponibles Respecto a Espesores de las Caras.....	44

Tabla 31. Evaluación de Condiciones para Anchos Disponibles Respecto a Espesores de las Caras	45
Tabla 32. Opciones de UMC para Fabricar el Resonador	45
Tabla 33. Opciones Rectangulares de UMC para Fabricar el Resonador	45
Tabla 34. STC que Aportan 2 Tipos de UMC.....	46
Tabla 35. STC que Aportan 2 Tipos de UMC.....	47
Tabla 36. Dimensiones de la UMC de 200mm.....	47
Tabla 37. Resumen de las Dimenciones Internas Estándar de las UMC	48
Tabla 38. Dimensión de la UMC de 200mm a ser Usada	48
Tabla 39. Resultados para la Implementación de un Difusor MLS en la UMC	48
Tabla 40. Resultados para la Implementación de un Difusor MLS en 2 UMC	49
Tabla 41. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=5$ en la UMC	49
Tabla 42. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=7$ en la UMC	50
Tabla 43. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=11$ en la UMC	50
Tabla 44. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=17$ en la UMC	50
Tabla 45. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=23$ en la UMC	50
Tabla 46. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=5$ y $g=2$ en la UMC	51
Tabla 47. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=7$ y $g=3$ en la UMC	51

Tabla 48. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=11$ y $g=2$ en la UMC	51
Tabla 49. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=13$ y $g=2$ en la UMC	52
Tabla 50. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=17$ y $g=3$ en la UMC	52
Tabla 51. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=19$ y $g=2$ en la UMC	52
Tabla 52. Resultados de la Medición de Absorción	73
Tabla 53. Resultados de la Medición de Aislamiento.....	78
Tabla 54. Corrección de la Curva para Obtener el $R'w$	79
Tabla 55. Adaptación Espectral para Índice de Reducción Aparente	81
Tabla 56. Terminos de Adaptación Espectral $R'w$	81
Tabla 57. Tipos de Fuentes de Ruido vs Terminos de Adaptación Espectral Calculados.....	82
Tabla 58. Grado de Privacidad de la Palabra vs Valores Obtenidos	83
Tabla 59. Ambientes vs Valores Obtenidos	84
Tabla 60. Comparación Muros Comunes vs Muros con la UMC Acústica.....	85
Tabla 61. Precios de la UMC Acústica.....	91
Tabla 62. Costo de Implementación Tradicional Vs Costo UMC Acústica.....	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Nivel de Presión Sonora.....	15
Ecuación 2. Período	15
Ecuación 3. Velocidad del Sonido.....	15
Ecuación 4. Velocidad del Sonido en Función del Ambiente	16
Ecuación 5. Longitud de Onda	16
Ecuación 6. Impedancia Acústica	17
Ecuación 7. Ley de la Masa	18
Ecuación 8. Frecuencia de Diseño para el Resonador de Membrana.....	20
Ecuación 9. Masa Acústica para el Resonador de Membrana	21
Ecuación 10. Compliancia Acústica para el Resonador de Membrana	21
Ecuación 11. Frecuencia de Diseño para el Resonador de Helmholtz.....	22
Ecuación 12. Masa Acústica para el Resonador de Helmholtz.....	22
Ecuación 13. Compliancia Acústica para el Resonador de Helmholtz.....	22
Ecuación 14. Secuencia para el QRD Unidimensional	25
Ecuación 15. Secuencia para el QRD Bidimensional	25
Ecuación 16. Frecuencia Máxima de Difusión para el QRD	25
Ecuación 17. Ancho del QRD sin Divisores	25
Ecuación 18. Ancho del QRD con Divisores	25
Ecuación 19. Profundidad de la Ranura para el QRD.....	26

Ecuación 20. Secuencia para el Difusor PRD.....	26
Ecuación 21. Frecuencia Máxima de Difusión para el PRD.....	27
Ecuación 22. Ancho del PRD sin Divisores.....	27
Ecuación 23. Ancho del PRD con Divisores	27
Ecuación 24. Profundidad de la Ranura para el PRD	27
Ecuación 25. Profundidad de las Ranuras para el Difusor MLS	30
Ecuación 26. Ancho de las Ranuras para el Difusor MLS	30
Ecuación 27. Radio Equivalente	57
Ecuación 28. Absorción Sabine	71

Introducción

Antecedentes

Los bloques de hormigón han sido usados en la construcción como la opción más económica y viable para el levantamiento de muros, los conocen también en otros países con el nombre de unidad de mampostería de concreto o UMC. La implementación de este elemento prefabricado de la construcción se lo realiza mediante el apilamiento de los bloques uno a uno, uniéndolos con una mezcla fresca de mortero de hormigón (Adell, J., 2008, p.15).

La utilización del hormigón en la construcción viene desde la época de los romanos cerca al 200 AC. En el imperio de Roma durante el 37 al 41 DC, durante el reinado de Calígula, se realizaron construcciones en Nápoles Italia con bloques de hormigón pequeños prefabricados (Madehow, s.f.).

El primer diseño de un bloque de hormigón fue patentado por Harmon S. Palmer en 1890 y poseía las siguientes dimensiones: 8 pulgadas (20,3 cm) por 10 pulgadas (25,4 cm) por 30 pulgadas (76,2 cm). Después de esto la industrialización del bloque de hormigón fue mundial y su fabricación paso de la cantidad de 10 cuerdas por persona cada hora, a 2000 bloques por hora en la actualidad (Madehow, s.f.).

Varios diseños de bloques han sido desarrollados en el tiempo y han ido ocupando su espacio en la implementación de los mismos en la construcción, algunos ejemplos como los *SRW Segmental Retaining Walls*, *ACB Articulated Concrete Block*, el *SOUNDBLOX Acústico de Acústica Integral*, y el típico *CMU Concrete Masonry Unit*, entre otros; que poseen sus propias patentes registradas y son utilizados actualmente en la construcción de edificaciones en países de primer mundo (NCMA, 2002, s.f.).

Las unidades de mampostería de concreto están caracterizadas por sus altas prestaciones en materia de costos, sus propiedades físicas como la resistencia al fuego, conductividad térmica, aislamiento acústico, protección contra el agua, y su comportamiento ecológico, al ser un material reciclable, el mismo

que hace que este sea ideal para la construcción de diferentes proyectos (NCMA, 2002, s.f.).

La fabricación de bloques de hormigón en el Ecuador no ha conseguido su total desarrollo en varios aspectos. Los diseños de unidades de mampostería de concreto en el país son escasos y se limitan a la tradicional unidad de mampostería. Muchos de los bloques de hormigón carecen de certificaciones de la construcción y de especificaciones técnicas que permitan determinar datos importantes como la resistencia mecánica, conductividad térmica, dimensiones, peso por unidad, coeficiente de absorción medio, clase de absorción acústica, o el aislamiento acústico global.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar y fabricar una unidad de mampostería de concreto que posea características de aislamiento, absorción y difusión acústica para la implementación del mismo en la construcción de, encierros acústicos, estudios de grabación, salas de ensayo, salas de concierto y la vivienda común.

Objetivos Específicos

- Determinar la geometría y las dimensiones adecuadas de la UMC para la fácil implementación de sistemas de absorción, difusión y aislamiento acústico
- Determinar el mejor proceso para la fabricación de una UMC.
- Evaluar el prototipo en cuanto a sus propiedades de aislamiento, absorción y difusión acústica *in situ*, cumpliendo con un coeficiente mínimo de absorción acústica promedio de 0,60, un R'_w aparente de 45 dB y difusión de altas frecuencias.
- Determinar el costo beneficio de la implementación del mismo en la construcción de recintos con necesidades acústicas.

Alcance

La finalidad de este documento será la fabricación de un número determinado de prototipos de unidades de mampostería que posean propiedades acústicas para la posterior evaluación de los mismos en los ámbitos de difusión, absorción y aislamiento acústico *in situ*. Una vez determinadas cada una de las propiedades las mismas pasarán a formar parte de las características de la UMC Acústica.

Para la fabricación de este elemento, los diferentes conceptos que se adquirieron durante la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica como teorías de absorción, resonadores acústicos, y conceptos de difusión serán necesarios.

Justificación

Las UMC son uno de los elementos indispensables de la construcción en el Ecuador, están presentes en la mayoría de las edificaciones que se realizan en el país, ya sea en edificios o en casas de una o más plantas; también están presentes en la construcción de factorías, oficinas, restaurantes, centros comerciales, salas de concierto, estadios, polideportivos, canchas multifuncionales, aulas de aprendizaje, salas de conferencia; pero todos implementan en algún momento de la construcción a la UMC.

Debido al significativo uso de la UMC en la construcción es conveniente considerar todas sus propiedades. Una UMC que especifica características técnicas como la conductividad térmica, absorción acústica, aislamiento acústico, resistencia al fuego, y protección ante el agua, proveerá información valiosa a los profesionales involucrados en la construcción para que de esta forma puedan discriminar y tomar mejores decisiones.

En el caso de las especificaciones pertenecientes a la rama de la acústica, la inclusión de estas en las UMC exhibirá nuevas formas de beneficiarse de una construcción mejor planificada, e incluso reducir los costos de la misma debido al valor agregado que aportaría controlando y aislando ruido, acondicionando

acústicamente una sala y proporcionando difusión, de una manera práctica, fácil de implementar y sustentable.

Hipótesis

El diseño de la forma geométrica, así como, los elementos de la fabricación de una UMC están íntimamente ligados con las propiedades acústicas que este adopte, ya sea absorción, aislamiento o difusión acústica. La implementación de absorción en el cuerpo de la UMC, como la utilización de materiales absorbentes o cavidades en forma de resonadores, mejorarán notablemente el coeficiente de absorción del mismo a un mínimo de 0,60 para un rango de frecuencias medias, y fijarán un grado de aislamiento de un $R'w$ aparente de 45. La utilización de acabados de fábrica para la UMC; como la pigmentación del mismo, reducirá el costo de implementación.

1. Marco Teórico

1.1. Fundamentos de Unidades de Mampostería de Concreto

1.1.1. Definiciones Importantes

1.1.1.1. Unidad de Mampostería de Concreto (UMC)

Usado para referirse a un elemento prefabricado de la construcción, es también llamado bloque de hormigón o concreto; está elaborado con pasta y agregados finos para formar una estructura sólida y resistente. Es utilizado en la implementación de fábricas en todo el mundo y se lo encuentra generalmente en formas prismáticas rectangulares con huecos (Adell, J., 2008, p.p.15-23).

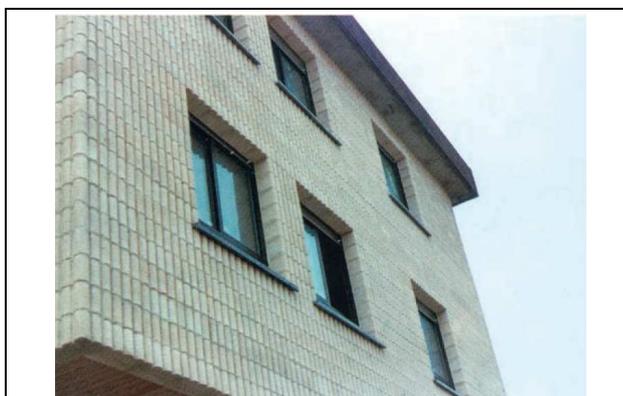
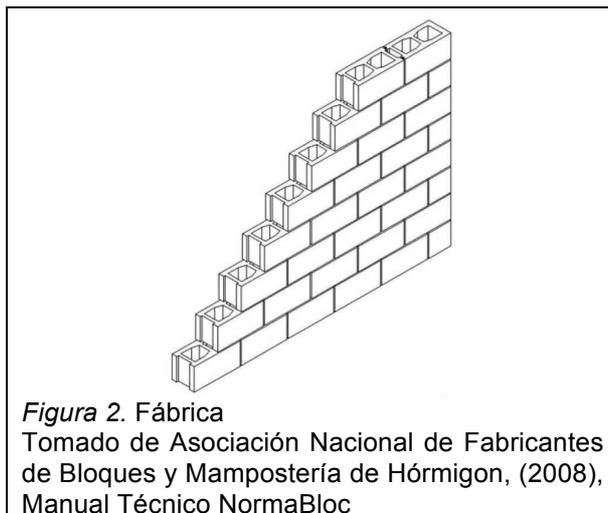


Figura 1. Edificación Construida con Unidades de Mampostería Acanaladas
Tomado de Faconor S.A., Catálogo Prefabricados Caravista.

1.1.1.2. Fábrica

La palabra fábrica hace referencia a lo comúnmente conocido como muro o pared, y es el conjunto trabado de unidades de mampostería unidas con una mezcla de mortero. Fábricas pretensadas, armadas o confinadas representan varias formas en las que se puede levantar un muro. La utilización de barras de acero a través de las unidades de mampostería son comunes en las fábricas de tipo armado (Adell, J., 2008, p.p.15-23).



1.1.1.3. Mezclado

Hace referencia al proceso en el que los agregados se unen con la pasta para formar el hormigón fresco, la consistencia inicial ideal debe ser plástica o moldeable a mano, esto debe ser manejado con mucho cuidado debido a la incidencia en la calidad del producto final (Kosmatka, et.al, 2004, p.3).

Uno de los puntos de partida para obtener un concreto uniforme es la supervisión cuidadosa de la mezcladora u hormigonera; la secuencia en la que son colocados los ingredientes influyen en la calidad de concreto plástico. El volumen de la mezcladora, la configuración y tamaño de las aspás, el número de revoluciones y velocidad son otros factores para un buen mezclado (Kosmatka, et.al, 2004, p.3).

1.1.1.4. Trabajabilidad del Concreto

Se denomina trabajabilidad al grado de dificultad que se presenta al momento de colocar la mezcla y depende de factores como la cantidad de materiales cementantes, consistencia del concreto, textura, geometría de los agregados, cantidad de agua y temperatura ambiente. La inclusión de aditivos y aire en la mezcla influyen también en la trabajabilidad (Kosmatka, et.al, 2004, p.3).



Figura 3. Trabajabilidad del Concreto
Tomado de Kosmatka, et.al, (2004).Diseño y Control de Mezclas de Concreto, © Portland Cement Association.

1.1.1.5. Exudación del Concreto

La exudación del concreto o también llamado sangrado es la aparición de una capa delgada de agua en la superficie debido al asentamiento de los agregados y materiales cementantes, este proceso ayuda a evitar la formación de grietas, pero, si existe una exudación excesiva este proceso se revierte (Kosmatka, et.al, 2004, p.4).

1.1.1.6. Consolidación del Concreto

La consolidación del concreto es el proceso por el cual toda la mezcla se une de manera homogénea, esto se lo realiza por medio de vibración, ayudando a que los agregados y la pasta no dejen espacios entre ellos y de esta manera no obtener un concreto poroso y débil (Kosmatka, et.al, 2004, p.4).

1.1.2. Tipos de Unidades de Mampostería

Bloques de hormigón, ligeros, con cavidades, macizos, fabricados con áridos densos, con caras lisas o texturas, son algunos de los formatos que se encuentran en el mercado internacional. Algunos de los tamaños y formas de las UMC están normados internacionalmente y en varios países cumplen con declaraciones de conformidad permitiendo evaluarlos en diferentes condiciones a las que se someten en la cotidianidad (Adell, J., 2008, p.23).

A continuación se presentarán dos clasificaciones que toman en cuenta a la densidad volumétrica de la UMC, la primera de las clasificaciones es denominada Bloques de Árido Denso o BAD, y la segunda Bloques de Árido

Ligero o BAL, cada una de las clases de bloques abarcan a diferentes formas geométrías, medidas o texturas que cumplen con un objetivo específico en la construcción.

1.1.2.1. Bloque de Árido Denso (BAD)

Para considerar a un bloque de hormigón dentro de esta categoría el mismo debe presentar densidades en un rango de 1700 Kg/m^3 a 2400 Kg/m^3 . Este tipo de UMC se caracteriza por aportar aislamiento térmico y aislamiento acústico, y es utilizada en proyectos de la construcción con diferentes propósitos. Varias configuraciones de BAD consideran la geometría y la textura para subclasificarse (Adell, J., 2008, p.24).

a) Bloque de Hormigón Hueco (BHH)

Este tipo de bloque posibilita armar verticalmente una estructura a través de él mediante la utilización de barras de acero para adquirir un soporte extra al momento de cimentar un muro. La colocación de mortero suele realizarse en los costados, debido al diseño dentado que suele entregar este modelo (Adell, J., 2008, p.24).



b) Bloque Universal

Tiene al menos una cara que puede ser cortada lateralmente sin afectar la geometría del bloque. Esta UMC es utilizada con el fin de optimizar la construcción vertical en situaciones donde la armadura del muro este ya presente, permitiendo ingresar el bloque de una manera menos invasiva y perjudicial (Adell, J., 2008, p.25).



Figura 5. Bloque Universal

c) Bloque Multicámara de Áridos Densos

Está compuesto por varias cámaras de aire que son dependientes de las dimensiones del bloque, la disposición de estas es paralela a la cara externa del bloque.

Están presentes en el mercado los bloques multicámara machihembrados y sin machihembrar con dimensiones que generalmente no sobrepasan los 25 cm (Adell, J., 2008, p.25).

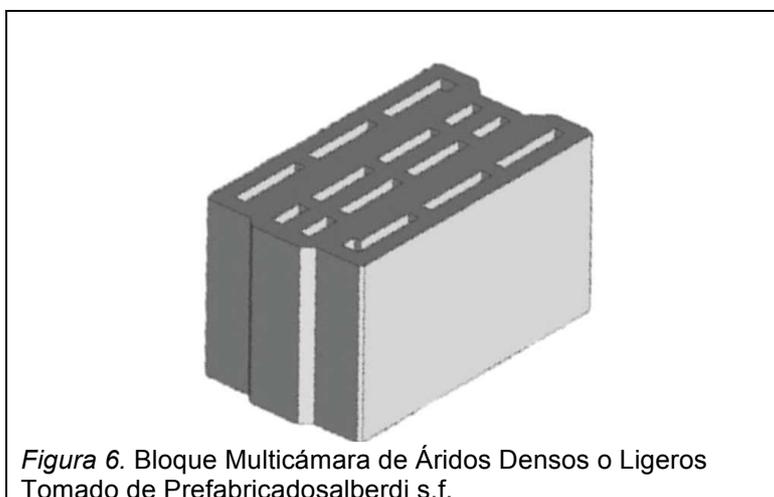


Figura 6. Bloque Multicámara de Áridos Densos o Ligeros
Tomado de Prefabricadosalberdi s.f.

1.1.2.2. Bloques de Árido Liger (BAL)

Su densidad está por debajo de los 1700 Kg/m^3 y se los encuentra en configuraciones de gran tamaño. El 50% de los materiales utilizados en esta UMC son agregados ligeros (Adell, J., 2008, p.26).

a) Airblock Macizo y Multicámara

Son piezas de mampostería de geometría rectangular caracterizadas por su rendimiento en cuestiones de aislamiento térmico. El airblock multicámara cuenta con perforaciones de mayor volumen a las del airblock macizo y deja dos o más cámaras en el centro para aminorar su peso. Necesitan tener una cara terminada con un acabado impermeable. Su fabricación se la realiza con mortero de cemento y con agregados ligeros de arcilla expandida (Adell, J., 2008, p.26).

1.1.3. Fabricación de Unidades de Mampostería de Concreto

Uno de los principales elementos que permiten la fabricación de las UMC es el hormigón, el mismo está constituido por dos componentes que conforman su estructura, la pasta y los agregados. La pasta incluye a dos elementos, el cemento portland y el agua, mientras que los agregados son la arena, grava (piedra triturada) o cascajo. La reacción entre estos elementos permite formar una estructura similar a una piedra.

1.1.3.1. Materias Primas

a) Cemento Portland

Denominado así por su similitud a un tipo de piedra que existe en una localidad de Inglaterra, el cemento portland es una composición química inicial de silicatos hidráulicos de calcio llamado Clinker, el cual en conjunto con ferro aluminatos de calcio, aluminatos de calcio y algunos sulfatos de calcio, son molidos para obtener el producto final llamado cemento portland (AFCP, s.f.).

b) Tipos de Cemento Portland

De acuerdo a la norma internacional ASTM C 150 existen ocho tipos de cemento portland, Tipo I Normal, Tipo IA Normal con aire incluido, Tipo II Moderada resistencia a los sulfatos, Tipo IIA Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido, Tipo III Alta resistencia inicial, Tipo IIIA Alta resistencia inicial con aire incluido, Tipo IV Bajo calor de hidratación, Tipo V Alta resistencia a los sulfatos.

a. Tipo I

También llamado portland corriente posee una alta tasa de liberación de calor. Este cemento tiene varias aplicaciones y una de ellas es la fabricación de elementos de la construcción como la unidad de mampostería de concreto. Debido a su uso general en este tipo de aplicaciones que no requieren características cementantes especiales, es utilizado en cualquier proyecto que no requiera un tipo diferente de cemento. Los cementos de tipo I pueden incorporar aire, en este caso, la nomenclatura cambia y se añade una A al nombre, obteniendo así un cemento portland tipo IA (ICCYC, s.f.)

b. Tipo II

El portland tipo II posee una tasa menor de liberación de calor que la del tipo I, y tiene como característica especial la moderada resistencia a sulfatación, esto se debe a la mínima presencia de aluminato tricálcico (Ca_3A). La interacción del Ca_3A con agua o suelos húmedos produce concreto con tendencia a agrietarse por expansión. Es utilizado en tuberías de concreto, puentes o en lugares expuestos a agua de mar (Kosmatka, et.al, 2004, p.30).

Muchas veces no se toma en cuenta la menor liberación de calor o la resistencia a los sulfatos, y se lo aplica en las mismas situaciones que el portland Tipo I (ICCYC, s.f.)

c. Tipo III

La diferencia de este cemento con el tipo I es la molienda a la que se somete la materia prima. Es un material mucho más fino que se usa en situaciones donde sea necesario un proceso de curado rápido para obtener una resistencia del concreto temprana de una forma económica (Kosmatka, et.al, 2004, p.34).

d. Tipo IV

Su presencia en el mercado es poco usual y se usa en construcciones especiales de concreto masivo que necesita bajo calor de hidratación como la construcción de presas (Kosmatka, et.al, 2004, p.34).

La resistencia del concreto que usa este tipo de cemento se desarrolla lentamente.

e. Tipo V

Similar al portland tipo II con la diferencia de que su resistencia a los sulfatos es mayor. La cantidad de aluminato tricálcico no supera el 5%.

c) Agua para Mezcla de Concreto.

El agua utilizada para realizar mezclas y obtener concreto generalmente es potable, pero existen estudios que permiten tomar como una opción a elementos considerados no potables como por ejemplo el agua de mar.

La cantidad de partes por millón de sólidos disueltos que existan en el agua debe ser menor a 2000 para poder ser empleada en la mezcla (Kosmatka, et.al, 2004, p.p. 95-100).

d) Áridos para Concreto.

Los áridos utilizados en la formación de concreto son una mezcla de minerales de vital importancia ya que corresponden de un 60% a 75% del volumen del mismo, e influyen mucho en las propiedades ya sea en la etapa de estado fresco o ya endurecido (Kosmatka, et.al, 2004, p.p.105-112).

Los agregados finos corresponden a piedra triturada de no más de 9,5 mm y los agregados gruesos poseen un tamaño mayor a los 9,5 mm hasta los 150 mm y deben ser previamente preparados para eliminar posibles impurezas que puedan afectar a la correcta unión con el cemento.



1.1.3.2. Mezcla

La calidad del concreto utilizado en la fabricación de unidades de mampostería depende de dos elementos, la pasta y los agregados. La pasta se refiere a la mezcla entre el cemento portland y el agua, y representa un 25% de la mezcla para hormigón, mientras que los agregados corresponden a todos los áridos como piedra tritura, grava o arena artificial. La unión de los agregados y la pasta depende de la cantidad de agua que se utilice con el material cementante, una cantidad exagerada de agua podría presentar problemas al momento de la unión con los agregados debido a que el pegamento del cemento pudo haber sido eliminado por el agua (Kosmatka, et.al, 2004, p.3).



Mayor resistencia a compresión y flexión, impermeabilidad, resistencia a la intemperie, menores cambios de volumen en las etapas de secado y endurecimiento, son ventajas que se presentan al tener una pasta con baja relación agua-cemento (Kosmatka, et.al, 2004, p.3).

1.2. Fundamentos de Aislamiento, Absorción y Difusión Acústica

1.2.1. Definiciones Importantes

1.2.1.1. Sonido

El sonido es producto de la perturbación de un medio que viaja una distancia X en una velocidad y tiempo determinado, en este caso el medio se considera como elástico. Las perturbaciones puede ser del orden periódico como no periódico y producen una sensación auditiva debido a que generan variaciones de presión en el medio que se propagan. En el caso del aire, el sonido audible se produce cuando existe una presión mínima de 20 micropascales (Everest, 2001; Carrión, 1998; Kinsler, 1999).

La vibración que se produce en un medio y que como consecuencia genera sonido, se debe a una fuerza de excitación inicial que se propaga comprimiendo y descomprimiendo las partículas de aire que continuamente se van alejando de la fuente.

1.2.1.2. Presión Acústica

Fenómeno que se produce en un determinado punto del espacio, consecuencia del movimiento de compresión y rarefacción de las partículas de aire por unidad de superficie por efecto de una fuerza de excitación inicial (Carrión, 1998).

El cambio mínimo que debe existir en la presión atmosférica para que el fenómeno sea audible es de 20 micropascales a 1000 Hz, y el límite máximo considerado como el umbral de dolor se ubica en los 20 pascales. La aplicación directa de la escala lineal en pascales es impráctica debido a que entregaría valores entre 1 y 5.000.000 aproximadamente. Debido a esto la

utilización de una escala logarítmica es necesaria, cambiando el nombre presión sonora a nivel de presión sonora. (Pereita, p.p.22).

El nivel de presión sonora está determinado por:

Donde:

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

P_{ref} = Mínima presión audible para el ser humano correspondiente a $20 \cdot 10^{-5}$ [Pa] @ 1000 Hz.

1.2.1.3. Frecuencia y Período

La frecuencia de un sonido está determinada por el número de oscilaciones que produce una variación de presión acústica en un determinado tiempo en segundos, cada ciclo completo es llamado período y está determinado por:

$$T = \frac{1}{f} \quad [s] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

T = Período [s].

f = Frecuencia [Hz].

1.2.1.4. Velocidad del Sonido

El sonido puede propagarse en medios como gases, líquidos y sólidos, consecuencia de esto la velocidad del mismo depende de factores como el peso molecular y la temperatura del medio. La forma de cálculo en condiciones comunes en donde la temperatura es igual a 20 [°C] a 1 atmósfera de presión, esta determinada por:

$$c = 332 + 0,608 * T \quad [m/s] \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$c = 344 \quad [m/s]$$

Si existen cambios en las condiciones de atmósfera y temperatura la fórmula para realizar el cálculo esta determinado por:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad [m/s] \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

γ = Constante de elasticidad del medio (aire = 1,4).

R = 8,31 [J/mol*°K].

M = Masa de un mol [Kg/mol] (aire = 0,0288).

T = Temperatura absoluta en grados kelvin [°K].

1.2.1.5. Longitud de Onda

La distancia que se produce entre dos perturbaciones periódicas sucesivas se denomina longitud de onda, la misma es dependiente de la velocidad y la frecuencia.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 5})$$

λ = Longitud de onda [m].

c = Velocidad del sonido [m/s].

f = Frecuencia [Hz].

El medio en que se propague una onda será importante para la determinación de su longitud debido a la vinculación de esta con la velocidad. La frecuencia tendrá una influencia inversa en la determinación de la longitud, es decir, a mayor frecuencia menor longitud y a menor frecuencia mayor longitud.

1.2.1.6. Impedancia Acústica

La impedancia se refiere a la oposición del paso de una perturbación a través de un medio como gases, sólidos o líquidos, cada uno de estos presentan

alguna resistencia; en el caso de la acústica, al sonido. La proporción de resistencia que un material presenta esta determinado por:

$$Z = \rho * c \quad [Rayls] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

ρ = Densidad volumétrica [Kg/m^3].

c = Velocidad del sonido [m/s].

1.2.2. Aislamiento Acústico

Se considera que existe aislamiento acústico en una sala cuando la incidencia del sonido o ruido exterior al recinto es mermada o reducida mediante la implementación de obstáculos entre la fuente problema y el receptor. Un punto de partida para determinar aproximadamente el aislamiento de una partición es la ley de la masa (Everest, 2001, p.168).

Existen varias maneras de controlar, reducir o eliminar el ruido en un recinto, varias de estas alternativas sugieren opciones económicamente viables o que presentan una mayor inversión. De forma general algunas disyuntivas incluyen interponer una barrera entre el generador de ruido y el receptor; reducir el nivel en la fuente mediante control de vibraciones, encierros o absorción; reducir el nivel en la sala receptora generalmente con absorción; o simplemente realizar la construcción lejos del problema.

Para cuantificar la cantidad de aislamiento que aportan diferentes tipos de particiones existen varias definiciones normadas internacionalmente, cada una de ellas son ligeramente diferentes pero cumplen con el mismo objetivo. Uno de los cuantificadores más representativos es el STC (Everest, 2001, p.168).

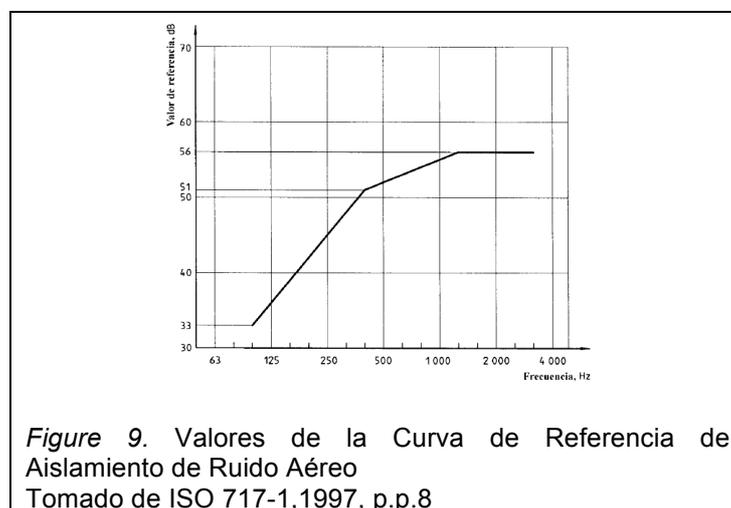
1.2.2.1. Índice de Reducción Aparente ($R'w$)

El $R'w$ permite asignar un número al aislamiento de ruido aéreo que una partición aporta. La forma de obtener el $R'w$ empieza con la comparación de datos de pérdida de transmisión medidos previamente, y una gráfica de tercio de octava versus frecuencia que especifica una curva de referencia de aislamiento

(ISO 717-1,1997). Se debe tener en cuenta los siguientes puntos para realizar el cotejo:

- El rango de frecuencias considerado, corresponde a valores entre 100 Hz y 3150 Hz.
- La suma de las desviaciones desfavorables sea la mas alta sin sobrepasar un nivel de 32 dB para el caso de mediciones realizadas en bandas de tercio de octava.

Si se satisface los puntos anteriores el valor de $R'w$ pertenece a la curva de referencia en la banda de 500 Hz.



1.2.2.2. Ley de la Masa

La ley de la masa realiza una aproximación del aislamiento que puede generar una partición simple (ISOVER, s.f., p.p.85-86), esta dominado por la masa superficial del material utilizado, y se expresa de la siguiente forma:

$$D = 20 \log \frac{\omega * m}{2 * Z} \quad [dB] \quad (\text{Ecuación 7})$$

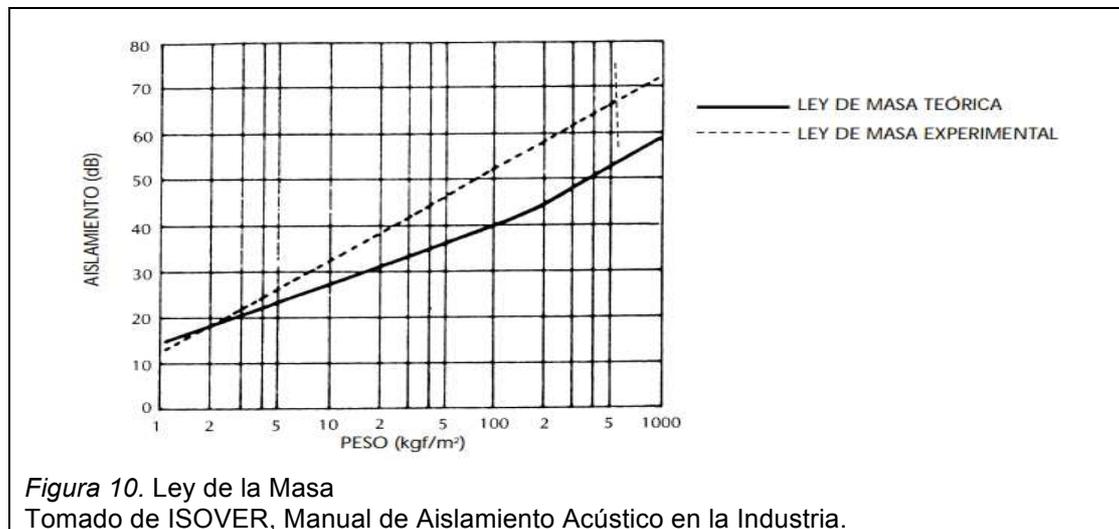
Donde:

$\omega = 2\pi f$ [Hz].

$m =$ Masa superficial [Kg/m²].

$Z =$ Impedancia acústica del aire [Rayls].

La tabla a continuación puede ayudar a visualizar de mejor manera lo que sucede en la ley de la masa.



1.2.3. Absorción Acústica

La absorción acústica determina que cantidad de energía sonora se pierde en forma de calor, depende de la longitud de onda de los sonidos que se propagan en el medio. Los materiales más comunes para obtener absorción acústica son aquellos que presentan superficies porosas; esta característica permite el control de altas frecuencias mas no de bajas.

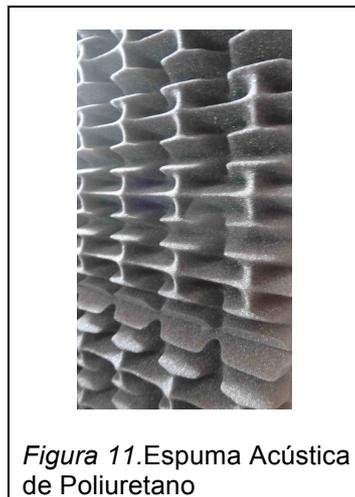
Existen otros tipos sistemas que aportan absorción y son utilizados en el control de bajas frecuencias. Este tipo de absorción utiliza el principio de resonancia debido a que el uso de materiales porosos para este objetivo es impráctico.

1.2.3.1. Tipos de Absorbentes Acústicos

b) Porosos

La absorción que genera este material esta determinado por la elevada cantidad de poros que contiene, la incidencia de una onda de alta frecuencia en estas diminutas cavidades hace que pierda su energía de manera continua en forma de calor, no toda la energía es disipada, si no que alguna es reflejada y otra no logra ser absorbida, atravesando completamente al material (Everest, 2001, p.192).

Materiales como la lana de vidrio, lana mineral o en ciertas ocasiones algodón, son utilizados como absorbentes, su limitación para altas frecuencias se debe a que la cantidad de absorción máxima depende del espesor y de $\lambda/4$. La mayor eficacia en absorción se alcanza para aquellas frecuencias cuyo espesor es menor o igual a un cuarto de la longitud de onda ($\lambda/4$) (Everest, 2001, p.192).



La lana de vidrio o lana mineral deben ser recubiertos con un material que actúe como velo acústico, debido a que este material desprende diminutos contaminantes sólidos que pueden afectar a la salud.

b) Resonador Diafragmático, Oscilante o de Membrana

La transformación de la energía acústica en calor en estos sistemas de absorción se debe a que este representa el típico sistema resorte-masa, su implementación se realiza mediante la colocación de una membrana o placa dispuesta a cierta distancia de un muro y sellada herméticamente. La energía incidente en este sistema de membrana y que coincide con su frecuencia de resonancia, hace vibrar al panel generando rozamiento debido a la compresión y descompresión en puntos máximos del sistema (Everest, 2001, p.205).

La mayor absorción que este sistema puede entregar depende de su frecuencia natural, la cual está determinada por la siguiente expresión:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{M_A * C_A}} \quad [Hz] \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$$M_A = \frac{\rho_S}{S} \quad [Kg/m^4] \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$C_A = \frac{V}{\rho_0 * c^2} \quad [m^5/N] \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

ρ_S = Densidad superficial del panel [Kg/m²].

S = Superficie del panel [m²].

V = Volumen de aire entre el panel y el muro [m³].

$\rho_0 * c^2$ = Impedancia característica [Rayls] (aire = 405,92).

En ocasiones la utilización de material absorbente como lana mineral o lana de vidrio dentro de la cavidad de aire, ayuda a que la absorción sea máxima y su rango de frecuencias efectivas aumente. El material no debe interrumpir el movimiento de la membrana o placa, y si el material va sobre la membrana se debe considerar que su masa acústica aumenta.

b) Resonadores de Helmholtz

Se lo puede relacionar con la forma de una botella, y su absorción esta determinada por dos partes, su cuello y su cavidad. El cuello actúa como una masa acústica mientras que la cavidad actúa como una compliancia, el rozamiento producido dentro de la cavidad permite la disipación de la energía sonora en calor. (Everest, 2001, p.215).



Figura 12. Resonadores de Helmholtz en Cabina de Grabación

La utilización de estos sistemas en recintos permite el control de sonidos de baja frecuencia, por esta razón su construcción se realiza con formas geométricas que van según las necesidades del lugar, una de estas formas es la prismática que en muchos casos se utiliza como mata esquinas controlando la concentración de frecuencias bajas en este lugar.

Que tan efectiva es la absorción de este sistema depende de la frecuencia de resonancia para el que es diseñado, el material con el que se construye y si se usa o no material absorbente dentro de la cavidad.

La frecuencia de resonancia esta determina por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{M_A * C_A}} \quad [Hz] \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$$M_A = \frac{\rho_0 * l}{a^2 \pi} \quad [Kg/m^4] \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$C_A = \frac{V}{\rho_0 * c^2} \quad [m^5/N] \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

ρ_0 = Densidad volumétrica del aire [Kg/m³] (aire = 1,18).

V = Volumen de la cavidad [m³].

$\rho_0 * c^2$ = Impedancia característica [Rayls] (aire = 405,92).

a = Radio del cuello [m].

l' = Largo efectivo del cuello [m] ($l' = l + 1,7 a$).

Este resonador se encuentra también en los paneles perforados, donde el cuello del resonador esta representado por el espesor del panel utilizado, y el volumen detrás del panel representa la compliancia acústica, su absorción esta determinada por la cantidad de ranuras que se hicieron en el panel (Everest, 2001, p.218).

1.2.4. Difusión Acústica

La difusión acústica se ha desarrollado para mejorar la respuesta de frecuencia que existe en un recinto mediante el mejoramiento de la distribución espacial y

temporal de la energía acústica en él. Esto se realiza mediante la colocación de superficies reflectantes que rompen el frente de onda incidente en varias direcciones. La utilización de superficies convexas es uno de varios procedimientos para obtener difusión. La difusión en una sala también permite mejorar la efectividad o influencia de los materiales utilizados para generar absorción debido a que optimiza la interacción de la energía acústica con la absorción existente en el recinto (Everest, 2001, p.p.267-287).

Difusores policilíndricos, geométricos, schroeder, MLS, PRD y QRD son opciones existentes en el mercado actual.

1.2.4.1. Difusores Policilíndricos y Geométricos

Los difusores policilíndricos son considerados un caso especial de difusión, su forma lisa y convexa no rompe el frente de onda incidente si no que distribuye su energía por medio de reflexiones regulares. Están dispuestos de forma secuencial y su radio generalmente es mayor a los 5 metros (Everest, 2001, p.286). Son utilizados con el objetivo de generar reflexiones tempranas y mejorar la inteligibilidad de la palabra en salas.

Las formas geométricas en la difusión generan el mismo fenómeno que las formas policilíndricas y su rango de difusión óptima se encuentra alrededor del 1/3 de octava.

1.2.4.2. Difusores Schroeder

Este principio de difusión es matemático y se basa en secuencias numéricas ya establecidas. Tiene su origen en los polinomios de Schroeder. A esta familia pertenece el siguiente tipo de difusor:

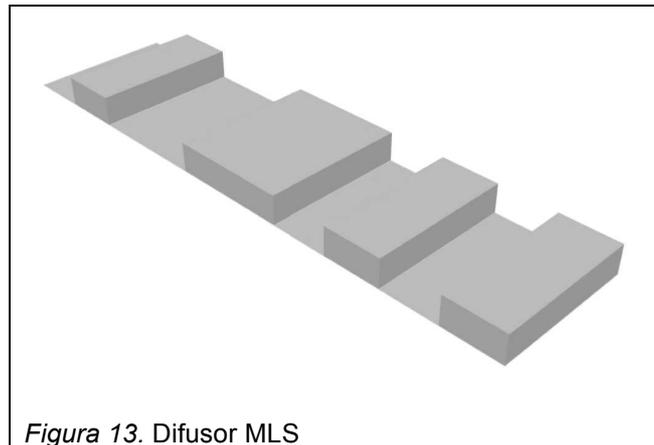
a) Difusores de Longitud Máxima o MLS

Este clase de difusor posee una superficie reflectante, dentada y lisa. La profundidad y ancho de sus ranuras esta determinada por la longitud de onda para el cual va a ser diseñado el panel. La disposición de cada una de las ranuras esta determinada por secuencias de longitud máxima +1 y -1, en donde -1 representa una reflexión desde el fondo de la ranura con una

profundidad de $\lambda/4$, y +1 representa otra reflexión diferente desde la superficie (Everest, 2001, p.292).

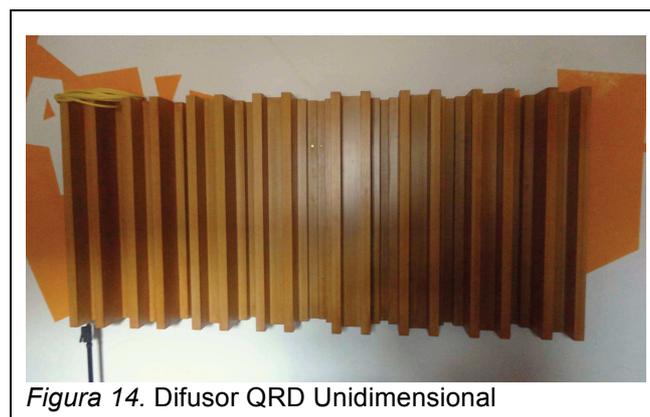
La secuencia de longitud máxima esta dispuesta de la siguiente manera:

+1 -1 +1 +1 -1 -1 +1 -1 +1 -1



1.2.4.3. Difusor de Residuo Cuadrático Unidimensional y Bidimensional o QRD

La difusión generada por un QRD; a diferencia del MLS, presenta mejores características, una de estas mejorías se debe a que la asignación de alturas esta determinada por la mayor longitud de onda a difundir, y el ancho de cada ranura depende aproximadamente de la mitad de la longitud de onda menor.



Otra característica representativa de este difusor es que la asignación que se hace genera formas convexas en lugar de formas cóncavas.

El procedimiento de diseño toma en cuenta los siguientes puntos:

a) Secuencia:

$$S_n = n^2 \bmod p \quad [QRD \text{ Unidimensional}] \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$S_n = (m^2 + n^2) \bmod p \quad [QRD \text{ Bidimensional}] \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

S_n = N-ésimo elemento de la secuencia.

P = Raíz o número primo.

n, m = Números enteros desde 0 a $(p-1)$.

\bmod = Función módulo, divide a un número para otro y entrega el primer residuo.

b) Rango de difusión óptima:

$$f_{max} = 2^3 f_o \quad [Hz] \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

f_o = Límite inferior del rango de difusión y frecuencia de diseño [Hz].

f_{max} = Límite superior del rango de difusión [Hz].

c) Ancho de las ranuras:

Sin divisores:

$$W = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 17})$$

Con divisores:

$$W = \frac{c}{2 * f_{max}} - T \quad [m] \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

c = Velocidad del sonido [m/s].

f_{max} = Límite superior rango de difusión [Hz].

T = Ancho del divisor [m].

d) Profundidad de la ranura:

$$d_{s_n} = \frac{S_n * c}{2 * p * f_o} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 19})$$

c = Velocidad del sonido [m/s].

f_o = Límite inferior rango de difusión [Hz].

p = Número primo.

e) Restricciones:

$$0,1W \leq T \leq 0,15W$$

La utilización de divisores en el difusor de residuo cuadrático se realiza en casos donde la onda incidente sea normal al mismo.

1.2.4.4. Difusor de Raíz Primaria o PRD

Al igual que el QRD, el difusor de raíz primaria genera difusión a partir de ranuras de igual ancho y diferentes profundidades, pero en este caso, la disposición de las mismas no es simétrico. La utilización de divisores en este difusor es común ya que ayuda a mantener la integridad acústica de cada ranura. (Everest, 2001, p.296). El rango de difusión es aproximadamente de 2 octavas a partir de la frecuencias de diseño.

El procedimiento de diseño toma en cuenta los siguientes puntos:

a) Secuencia:

$$S_n = g^n \text{ mod } p \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

S_n = N-ésimo elemento de la secuencia.

P = Raíz o número primo.

g = Raíz primaria de p (tabla).

n = Número entero va desde 1 a $(p-1)$.

mod = Función módulo, divide a un número para otro y entrega el primer residuo.

b) Rango de difusión óptima:

$$f_{max} = 2^2 f_o \quad [Hz] \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

f_o = Límite inferior del rango de difusión y frecuencia de diseño [Hz].

f_{max} = Límite superior del rango de difusión [Hz].

c) Ancho de las ranuras:

Sin divisores:

$$W = \frac{c}{2 * f_{max}} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 22})$$

Con divisores:

$$W = \frac{c}{2 * f_{max}} - T \quad [m] \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

c = Velocidad del sonido [m/s].

f_{max} = Límite superior rango de difusión [Hz].

T = Ancho del divisor [m].

d) Profundidad de la ranura:

$$d_{s_n} = \frac{S_n * c}{2 * p * f_o} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 24})$$

c = Velocidad del sonido [m/s].

f_o = Límite inferior rango de difusión [Hz].

p = Número primo.

e) Restricciones:

$$0,1W \leq T \leq 0,15W$$

2. Desarrollo Experimental

2.1. Determinación de las Dimensiones Adecuadas para la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica

Las dimensiones comerciales de unidades de mampostería de concreto a nivel mundial se encuentran comúnmente dispuestas de la siguiente forma.

Tabla 1. Dimensiones Estándar de Diferentes UMC en Milímetros

UMC	d =Profundidad [mm]	h = Altura [mm]	w =Ancho [mm]
100 mm	90	90-190	290-390
120 mm	110	190	390
150 mm	140	90-190	290-340-390
200 mm	190	90-190	290-390
300 mm	290	190	90-390

Para llevar a cabo la manufactura inicial, existe la necesidad de priorizar algunos aspectos acústicos sobre las dimensiones estándar del bloque de hormigón. En efecto, los puntos expuestos a continuación generarán una serie de restricciones provisionales; tanto teóricas como matemáticas, para la consecuente determinación de la dimensión real que necesitará la unidad de mampostería para adaptar las propiedades acústicas de absorción, difusión y aislamiento.

El primer caso a individualizar será el difusor, debido a que la superficie total que ocupe este elemento corresponderá a la mayor superficie disponible en el bloque de concreto. La superficie en la UMC con mayor dimensión corresponde al ancho disponible.

Después de tomar en cuenta todas las opciones de dimensión versus difusión se procederá a realizar el análisis de la absorción con respecto a la profundidad de la unidad debido a que el espesor del material absorbente es determinante para obtener una buena absorción.

Para el caso específico del aislamiento acústico, también se priorizará la dimensión de la unidad correspondiente a la profundidad. La influencia de la

cámara de aire sobre la cantidad de aislamiento generada es una de las razones para realizar esto.

2.1.1. Dimensión vs Difusión

Los procedimientos más utilizados para generar un ambiente controlado en aspectos como la distribución espacial y temporal de la energía acústica están explicados en el marco teórico, y muestran entre sus clasificaciones a los difusores geométricos, policilíndricos, MLS, QRD y PRD.

La implementación de un difusor en la unidad de mampostería obedecerá a las restricciones matemáticas y teóricas en el diseño de difusores, y la disponibilidad de superficie para la fabricación del mismo sobre una de las caras aplicables de la pieza de hormigón.

Para la determinación de la dimensión adecuada de la Unidad de Mampostería de Concreto se abordará individualmente a las diferentes formas de generar el fenómeno de difusión.

2.1.1.1. Implementación de un Difusor Policilíndrico vs Dimensión de la UMC

El difusor policilíndrico se diseña en base a la premisa de que su dimensión sea comparable a la longitud de onda incidente con un radio de curvatura no menor a 5 metros (Everest, 2001, p.p.286-287), entonces las restricciones por frecuencia para la utilización de este método están dispuestas de la siguiente manera en la Tabla 2.

Tabla 2. Evaluación para la Implementación de un Difusor Policilíndrico en la UMC

Onda Incidente		Difusor Policilíndrico	Cara Aplicable de la UMC	Condición
Hz	λ [m]	h = ALTURA [m]	w =Anchos[m] Disponibles	Radio de Curvatura > 5 [m]
4K	0,086	0,09-0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	0,172	0,09-0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
1K	0,344	0,09-0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
500	0,688	0,09-0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
250	1,376	0,09-0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

La cara aplicable de la UMC hace referencia al espacio en el que sería factible la implementación de la difusión, en este caso la anchura disponible está expuesta en metros para su fácil comparación con las condiciones que rigen el diseño de un difusor policilíndrico.

2.1.1.2. Implementación de un Difusor Geométrico vs Dimensión de la UMC

La implementación de esta forma de difusión en las dimensiones de la cara aplicable para el elemento difusor estaría condicionado a formas geométricas muy pequeñas y de poca influencia para la distribución de la energía acústica incidente, similar a lo que sucede en el diseño de elementos policilíndricos en la UMC.

2.1.1.3. Implementación de un Difusor MLS vs Dimensión de la UMC

El cálculo de los difusores MLS acata una secuencia ya establecida. La profundidad y ancho de las ranuras son calculadas de la siguiente forma:

$$d = \frac{\lambda}{4} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$w = \frac{\lambda}{2} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 26})$$

La Tabla 3 permite verificar si es viable la construcción del difusor MLS en la cara aplicable de la UMC.

Tabla 3. Evaluación para la Implementación de un Difusor MLS en la UMC

Onda Incidente	Difusor MLS			Cara Aplicable de la UMC	Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4} \quad [m]$	$w = \frac{\lambda}{2} \quad [m]$	w Total [m]	w=Anchos [m] Disponibles	w Total ≤ w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,1075	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,215	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
4K	0,0215	0,043	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Las frecuencias disponibles para el diseño del difusor MLS son demasiado altas para ser consideradas en el control de la acústica en una sala, debido a

que el análisis realizado por el momento es específicamente para una UMC. El número de casos aplicables así como la frecuencia de diseño inicial mejoran si se realiza una comparación para dos unidades de mampostería, así, los cambios que se aplican en la siguiente tabla consideran únicamente al ancho de la unidad duplicada, esto se realiza sin tomar en cuenta el espacio que podría involucrar la aplicación de mortero para la sujeción de los bloques.

Tabla 4. Evaluación para la Implementación de un Difusor MLS en 2 UMC

Onda Incidente	Difusor MLS			Cara Aplicable de la UMC x 2	Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4}$ [m]	$w = \frac{\lambda}{2}$ [m]	w Total [m]	w=Anchos [m] Disponibles x 2	w Total \leq w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,11	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,21	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
4K	0,0215	0,043	0,43	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
2K	0,043	0,086	0,86	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable

Realizando el análisis para dos unidades la mejoría es ligeramente representativa, bajando solo una octava en difusión con respecto al empleo del mismo método en una sola unidad de mampostería.

2.1.1.4. Implementación de un QRD vs Dimensión de la UMC

Aquí se aplicarán las condiciones y restricciones de diseño presentadas en el marco teórico para obtener varios resultados y evaluarlos en la cara disponible para la posible aplicación del difusor.

La primera parte a ser tomada en cuenta reflejará las diferentes secuencias dispuestas para el diseño de un difusor QRD unidimensional

Tabla 5. Distribución de Alturas para el Difusor QRD

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
5	0	1	4	4	1	0																		
7	0	1	4	2	2	4	1	0																
11	0	1	4	9	5	3	3	5	9	4	1	0												
13	0	1	4	9	3	12	10	10	12	3	9	4	1	0										
17	0	1	4	9	16	8	2	15	13	13	15	2	8	16	9	4	1	0						
19	0	1	4	9	16	6	17	11	7	5	5	7	11	17	6	16	9	4	1	0				
23	0	1	4	9	16	2	13	3	18	12	8	6	6	8	12	18	3	13	2	16	9	4	1	0

A partir de estas secuencias se deriva el cálculo de tablas individuales para cada p citado anteriormente, y así poder realizar la compulsación entre el diseño del QRD y la cara aplicable de diseño del difusor.

Tabla 6. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=5$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 5$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
4K	32000	0,01	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,11	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,22	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Tabla 7. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=7$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 7$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
4K	32000	0,01	0,04	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,08	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,15	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,30	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,60	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Tabla 8. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=11$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 11$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
4K	32000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,12	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,24	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,47	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Tabla 9. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=13$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 13$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,07	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,14	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,28	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,56	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 10. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=17$ en la UMC.

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 17$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,18	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,37	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,73	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 11. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=19$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 19$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,20	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,41	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 12. Evaluación para la Implementación de un Difusor QRD con $p=23$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 23$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,12	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,25	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,49	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

El rango de frecuencias que podría ser afectado en consecuencia de la aplicación de este método esta entre 500 Hz y 2000 Hz.

2.1.1.5. Implementación de un PRD vs Dimensión de la UMC

El cálculo de la secuencia matemática para este difusor es diferente a la del QRD, e introduce resultados asimétricos en cuanto a la configuración total de cada secuencia al momento de establecer sus alturas. Su rango de difusión esta limitado a dos octavas y no es una opción conveniente en estudios de grabación debido a su asimetría (Everest, 2001, p.296).

Las secuencias a continuación expuestas permitirán construir las tablas de comparación de la cara aplicable de la UMC, y el ancho completo que ocuparía el difusor PRD.

Tabla 13. Asignación de Alturas para el Difusor PRD

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$p-5$ $g-2$	2	4	3	1														
$p-7$ $g-3$	3	2	6	4	5	1												
$p-11$ $g-2$	2	4	8	5	10	9	7	3	6	1								
$p-13$ $g-2$	2	4	3	3	6	12	10	9	5	10	7	1						
$p-17$ $g-3$	3	9	10	13	5	15	11	16	14	8	7	4	12	2	6	1		
$p-19$ $g-2$	2	4	8	16	13	7	14	9	18	17	15	11	3	6	12	5	10	1

A partir de las secuencias para el difusor PRD expuestas anteriormente se procede a elaborar las tablas comparativas al igual que se lo hizo para los difusores QRD y MLS.

Tabla 14. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=5$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 5$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,04	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,17	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
250	2000	0,09	0,34	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
125	1000	0,17	0,69	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 15. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=7$ y $g=3$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 7$ y $g - 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,13	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,26	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
250	2000	0,09	0,52	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 16. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=11$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 11$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,11	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,22	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 17. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=13$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 13$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,13	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,26	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,52	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 18. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=17$ y $g=3$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 17$ y $g - 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,17	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,34	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,69	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Tabla 19. Evaluación para la Implementación de un Difusor PRD con $p=19$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 19$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
4K	32000	0,01	0,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,39	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,77	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

En todas las tablas comparativas anteriormente dispuestas se encuentran marcadas las posibles opciones que establecen límites para el posterior diseño y fabricación del difusor en la unidad de mampostería.

2.1.2. Dimensión vs Absorción

Para el incremento de la absorción acústica que una UMC aporta naturalmente es necesario la implementación de algún método de absorción adicional de los anteriormente expuestos en el marco teórico, los casos aplicables que se tratarán a continuación estarán fijados en dos puntos importantes que son:

- La absorción que aportará las porosidades de una material específico.
- La absorción que generará el diseño de un resonador de helmholtz en la UMC.

No se tomará en cuenta para el análisis a la implementación de resonadores diafragmáticos o de placa debido a lo impráctico que resultaría usar estos métodos en la unidad.

2.1.2.1. Implementación de Absorbentes Porosos vs Dimensión de la UMC

Para el desarrollo de este punto se considerará específicamente a tres materiales que podrían aportar un grado de absorción, estos materiales serán clasificados por el espesor que cada uno posee en el mercado para de esta forma poder realizar una evaluación con respecto a las profundidades disponibles en la unidad de mampostería; adicional a esto, se especificará también el coeficiente de absorción promedio individual sin implementar en la UMC que el material tiene.

Para poder desarrollar mejor el tema anteriormente planteado se realizará una tabla comparativa que abordará a todos los puntos nombrados.

Tabla 20. Evaluación de Espacio Disponible en la UMC para Insertar Absortores Porosos

Material	Espeso r [m]	Coeficiente de Absorción por Frecuencia [Hz]						Profundidad Disponible en la UMC [m]
		125	250	500	1K	2K	4K	
Espuma	0,035	0,05	0,14	0,42	0,64	0,81		0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Espuma	0,050	0,19	0,32	0,73	0,97	0,82		0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Lana de Vidrio	0,025	0,20	0,40	0,80	0,90	1	1	0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Lana de Vidrio	0,050	0,30	0,75	1	1	1	1	0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Lana de Roca	0,030	0,07	0,13	0,37	0,77	0,98	0,95	0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Lana de Roca	0,040	0,22	0,64	0,90	1	1	0,96	0,90-0,110-0,140-0,190-0,290
Lana de Roca	0,050	0,22	0,64	0,90	1	1	0,98	0,90-0,110-0,140-0,190-0,290

La Tabla 20 permite identificar el espesor que ocuparía este material en la profundidad disponible de la UMC. La inserción de cualquiera de los materiales especificados es factible debido a que los mismos no sobrepasan el espacio en la unidad de mampostería. Los espesores de la espuma flexible de poliuretano, lana de roca y lana de vidrio, están entre 0,025 y 0,050 metros, la inserción de este absorbente en la unidad de mampostería se realizará en la cara aplicable más idónea para fabricar el difusor. Qué espacio corresponderá a la absorción, será establecido una vez todos los límites para la fabricación de la unidad acústica sean determinados.

2.1.2.2. Implementación de un Resonador de Helmholtz vs Dimensión de la UMC

El volumen de la cavidad, así como, las dimensiones del cuello de un resonador de helmholtz son puntos importantes a considerar debido a que existe una dependencia de los mismos con el volumen determinado por las dimensiones de la UMC.

Para la fabricación de un resonador dentro de la unidad de mampostería es necesario considerar sus medidas internas para de esta manera determinar el volumen que podría ser ocupado por el resonador. Para realizar esto es

necesario especificar el espesor estándar de las caras del bloque, los cuales en muchos casos, están especificados en función de la profundidad como se muestra a continuación (NCMA TEK 2-1A, 2002, p.1).

Tabla 21. Tipos de UMC y Espesores de las Paredes en Milímetros

UMC	d =Profundidad [mm]	Espesor de la Cara [mm]	Espesor Pared Interna [mm]
100 mm	90	19	19
120 mm	110	25	25
150 mm	140	32	29
200 mm	190	32-35	29
300 mm	290	32-38	29

Los intervalos de volúmenes internos de la unidad de mampostería de hormigón se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Intervalos de Volúmenes Internos en la UMC

UMC	Volúmenes Internos Disponibles en la UMC [m^3]
100 mm	0,009-0,0031
120 mm	0,0034
150 mm	0,0010-0,0039
200 mm	0,0015-0,0065
300 mm	0,0106-0,0299

Para las diferentes unidades de mampostería se determinaron los correspondientes valores de volumen interno para luego poderlos resumir en la Tabla 22 a manera de intervalos, sin restar el volumen que corresponde a la pared interna que se encuentra dentro de la UMC. La inclusión de este valor estará representada por la pared que divide a los resonadores de helmholtz en el caso que el número de estos supere la unidad.

Existen restricciones en cuanto al diseño de los resonadores de helmholtz, las mismas involucran a $\lambda/16$, la razón de esto es la necesidad de que el volumen de la cavidad actúe como compliancia acústica y el cuello como masa acústica.

Para el primer punto que involucra a la compliancia acústica, las restricciones para formas geométricas como un paralelepípedo se presentan en función del volumen:

$$V = xyz \quad [m^3]$$

Donde:

V = Volumen del paralelepípedo [m^3].

x, y, z = Aristas [m].

$$x, y, z \leq \lambda/16$$

Las restricciones que permiten que el cuello funcione como masa acústica están determinadas en función de la longitud y el diámetro del cuello como se indica a continuación:

$$l \leq \lambda/16$$

$$0,0027\sqrt{\lambda} \leq a \leq 0,029\lambda$$

Donde:

l = Longitud del cuello [m].

a = Diámetro del cuello [m].

En efecto de los impedimentos existentes en el diseño de resonadores de helmholtz es necesario sopesar el volumen y las aristas internas del bloque, para de esta manera encontrar los límites de diseño de resonadores en función de la UMC. La tabla de volúmenes que se determinó anteriormente servirá como una referencia en bruto del volumen disponible en el bloque, sin embargo, estos datos serán de poca ayuda para fijar límites. Para realizar esto será necesario determinar las medidas de las aristas internas que determinan el cubicaje interno de la UMC.

En cuanto a la longitud del cuello, el misma podría ser fijo y estaría determinada por el espesor de la cara aplicable; cabe aclarar que no se usará

ningún tipo de extensión externa como tubos de PVC u otros elementos debido al costo adicional que representaría en el momento de la fabricación.

En el caso del diámetro del cuello se considerará reemplazar la forma circular por una rectangular únicamente por simplicidad de implementación.

Considerando que la longitud del cuello para el resonador de helmholtz será fijo y estará determinado por el espesor de la cara de la UMC, se describirán los valores límites de λ , para luego determinar las limitaciones que se podrían presentar para las aristas correspondientes.

Tabla 23. Posibles Frecuencias Afectadas por la Implementación de una Abertura Rectangular con Longitud de Cuello Igual al Espesor en una de las Caras de la UMC

UMC	Espesor de la Cara [m]	λ [m]	f_0 [Hz]
100 mm	0,019	0,30	1131,58
120 mm	0,025	0,40	860,00
150 mm	0,032	0,51	671,88
200 mm	0,032-0,035	0,51-0,56	671,88-614,29
300 mm	0,032-0,038	0,51-0,61	671,88-565,79

La Tabla 23 refleja que frecuencias podrían ser afectadas al momento de la implementación del resonador con longitudes de cuello entre 0,019 m y 0,038 m. En consecuencia de los valores determinados; y relacionando a estos con la condición de las dimensiones de las aristas, es fácil deducir que las profundidades disponibles en la UMC son mucho mayores a las dimensiones de la cavidad, afectando totalmente al correcto desempeño del resonador. Para resolver este problema será necesario afrontar el tema a partir de las dimensiones internas disponibles en la UMC para luego determinar que frecuencia será perjudicada y que longitud del cuello se necesitará para cumplir la función de absorción.

A continuación se presenta la Tabla 24 con las dimensiones internas del bloque.

Tabla 24. Dimensiones Internas de la UMC

UMC	Profundidad		Altura				Ancho			
	[m]		[m]				[m]			
100 mm	0,05		0,07	0,17			0,25	0,35		
120 mm	0,06		0,17				0,34			
150 mm	0,08		0,06	0,16			0,23	0,28	0,33	
200 mm	0,13	0,12	0,06	0,16	0,06	0,16	0,23	0,33	0,22	0,32
300 mm	0,23	0,21	0,16		0,15		0,84	0,33	0,82	0,31

El ancho determinado en la anterior tabla no incluye a la pared interna del bloque, debido esto es necesario elaborar una tabla que involucre el ancho real interno de la unidad de mampostería.

Tabla 25. Ancho Interno de la UMC con la Pared Interna

UMC	Ancho			
	[m]			
100 mm	0,23	0,33		
120 mm	0,32			
150 mm	0,20	0,25	0,30	
200 mm	0,20	0,30	0,19	0,29
300 mm	0,81	0,30	0,80	0,29

Después de haber obtenido el ancho real se procede a formar la tabla con el ancho específico para cada cavidad. Teniendo en cuenta que estas configuraciones usualmente están presentes en versiones de dos y tres agujeros, se mostrará dos tablas independientes.

Tabla 26. Ancho Específico para una UMC con 2 Cavidades

UMC	Ancho Específico de una Cavidad			
	Configuración de 2			
	[m]			
100 mm	0,12	0,17		
120 mm	0,16			
150 mm	0,10	0,12	0,15	
200 mm	0,10	0,15	0,10	0,15
300 mm	0,40	0,15	0,40	0,14

Tabla 27. Ancho Especifico para una UMC con 3 Cavidades

UMC	Ancho Especifico de una Cavidad			
	Configuración de 3 [m]			
100 mm	0,07	0,10		
120 mm	0,09			
150 mm	0,05	0,06	0,08	
200 mm	0,05	0,08	0,04	0,08
300 mm	0,25	0,08	0,25	0,08

Evaluando las tablas anteriores y evidenciando la influencia que tiene seleccionar la dimensión de referencia para calcular el λ con el que se va a trabajar, se fijará solo a los valores de ancho de cada cavidad para calcular varios λ , debido a que esta dimensión es la menor y no afecta demasiado a la forma del bloque.

Tabla 28. Evaluación de λ en la UMC para la Implementación de un Resonador

UMC	Ancho Especifico de una Cavidad Configuración de 2 [m]	λ [m]	f_0 [Hz]
100 mm	0,12-0,17	1,86-2,66	184,55-129,13
120 mm	0,16	2,52	136,51
150 mm	0,10-0,12-0,15	1,58-1,98-2,38	218,27-174,09-144,78
200 mm	0,10-0,15-0,10-0,15	1,58-2,38-1,53-2,33	218,27-144,78-225,13-147,77
300 mm	0,40-0,15-0,40-0,14	6,46-2,38-6,36-2,28	53,28-144,78-54,09-150,88

Tabla 29. Evaluación de λ en la UMC para la Implementación de un Resonador

UMC	Ancho Especifico de una Cavidad Configuración de 3 [m]	λ [m]	f_0 [Hz]
100 mm	0,06-0,09	1,04-1,57	330,77-218,64
120 mm	0,08	1,41	243,40
150 mm	0,04-0,05-0,07	0,74-1,01-1,27	464,03-341,27-269,87
200 mm	0,04-0,07-0,03-0,07	0,74-1,27-0,71-1,24	464,03-269,87-484,96-276,82
300 mm	0,24-0,07-0,24-0,07	3,99-1,27-3,93-1,21	86,11-269,87-87,57-284,14

Tomando en cuenta que el objetivo de cada una de las tablas realizadas es proponer un límite para después realizar un cálculo definitivo e implementar las propiedades acústicas en la UMC, es imperioso en este punto realizar una selección del ancho correcto que determinara el λ , y por lo tanto, la frecuencia de diseño. El procedimiento para realizar esto será comparar todos los anchos disponibles; sean estos en configuraciones de dos y tres agujeros; con el espesor de la pared de las diferentes unidades de mampostería.

Tabla 30. Evaluación de Anchos Disponibles Respecto a Espesores de las Caras

UMC	Ancho Específico de una	Ancho Específico de una	Espesor de la Cara [m]
	Cavidad Configuración de 2 [m]	Cavidad Configuración de 3 [m]	
100 mm	0,12-0,17	0,06-0,09	0,019
120 mm	0,16	0,08	0,025
150 mm	0,10-0,12-0,15	0,04-0,05-0,07	0,032
200 mm	0,10-0,15-0,10-0,15	0,04-0,07-0,03-0,07	0,032-0,035
300 mm	0,40-0,15-0,40-0,14	0,24-0,07-0,24-0,07	0,032-0,038

La finalidad de la Tabla 30 es dar una idea de que diferencia existe entre el espesor de la pared y el ancho de una cavidad. Para el caso de la elaboración del resonador de helmholtz en una cavidad, la diferencia entre el espesor de la cara y el ancho de la cavidad debe de ser mínimo para no afectar mayormente a la unidad de mampostería, de esta forma se presenta la Tabla 31 resultado de esta condición.

Tabla 31. Evaluación de Condiciones para Anchos Disponibles Respecto a Espesores de las Caras

UMC	Ancho Especifico de una Cavidad Configuración de 2 [m]	Ancho Especifico de una Cavidad Configuración de 3 [m]	Espesor de la Cara [m]	Condición Ancho [m] \approx Espesor de la Cara [m]
100 mm	0,12-0,17	0,06-0,09	0,019	No Aplicable
120 mm	0,16	0,08	0,025	No Aplicable
150 mm	0,10-0,12-0,15	0,04-0,05-0,07	0,032	Aplicable
200 mm	0,10-0,15-0,10-0,15	0,04-0,07-0,03-0,07	0,032-0,035	Aplicable
300 mm	0,40-0,15-0,40-0,14	0,24-0,07-0,24-0,07	0,032-0,038	Aplicable

A partir de lo anterior, las medidas de las unidades para el diseño del resonador se ven de la siguiente manera.

Tabla 32. Opciones de UMC para Fabricar el Resonador

UMC	Profundidad [m]		Altura [m]				Ancho [m]				
150 mm	0,08		0,06	0,16			0,23	0,28	0,33		
200 mm	0,13	0,12	0,06	0,16	0,06	0,16	0,23	0,33		0,22	0,32
300 mm	0,23	0,21	0,16		0,15		0,84	0,33		0,82	0,31

Tomando en cuenta que las unidades de mampostería más comunes son de forma rectangular los límites se resumen a los siguientes valores.

Tabla 33. Opciones Rectangulares de UMC para Fabricar el Resonador

UMC	Profundidad [m]	Altura [m]	Ancho [m]
150 mm	0,08	0,16	0,33
200 mm	0,13	0,16	0,33
300 mm	0,23	0,16	0,84

Habiendo tomado en cuenta la configuración de la UMC con tres cavidades, el valor para cada arista determinada debería ser 0,07 metros debido al ancho de una de las cavidades.

Podemos notar que tanto el espesor, así como, la profundidad y la altura de las UMC de 150 mm y 200 mm no cumplen con la condición de que $x, y, z \leq \lambda/16$

debido a que λ presenta un valor de 1,27 metros; con excepción de la UMC de 300 mm, la cual será descartada debido a que sus dimensiones son demasiado grandes lo cual sería poco práctico y nada atractivo para cualquier posible cliente.

Debido a que no se cumple las condiciones necesarias que requiere el diseño de un resonador con respecto a $\lambda/16$ este tema se abordará en el diseño definitivo de la unidad, pero dentro de los límites en este momento establecidos que son los correspondientes a las UMC de 150 mm y 200 mm.

2.1.3. Dimensión vs Aislamiento

Debido a que la finalidad de esta parte del documento es plantear límites teóricos, así como matemáticos, se abordará el tema de dimensión versus aislamiento a partir de fuentes literarias. En este caso, se tomará como referencia al Master Handbook of Acoustics (Everest, 2001). Este texto permitirá establecer un límite teórico de que tipo de UMC aporta un STC mayor, para luego de esto, poder fabricar la unidad de mampostería tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores de difusión y absorción acústica.

La siguiente tabla resumida a continuación toma criterios del Master Handbook of Acoustics (Everest, 2001), para dos tipos de unidades de mampostería, aquí se especifica el STC que aporta aproximadamente estas piezas en el caso de la implementación de las mismas en una barrera.

Tabla 34. STC que Aportan 2 Tipos de UMC

UMC	Peso [Kg/sqm]	Enlucido 2 Lados	STC [dB]
100 mm	3,69	No	40
100 mm	6,14	Si	48
200 mm	6,14	No	45
200 mm	13,72	Si	56

Debido a lo anterior, la mejor opción para obtener un STC elevado, es utilizar una unidad de mampostería de mayor dimensión debido a su densidad que aporta un mayor aislamiento en términos de STC.

2.2. Diseño de la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica

Después de haber revisado las posibles restricciones que se podrían presentar al momento del diseño y fabricación de la unidad de mampostería acústica, así como, las mejores alternativas que aportarían más control de los sonidos que se propaguen en un recinto, se procederá a realizar el diseño de la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica.

El primer punto a considerar será la dimensión versus el aislamiento acústico; la razón de esto se debe a que existen dos opciones que resumen muy bien que cantidad de aislamiento generará la UMC.

Tabla 35. STC que Aportan 2 Tipos de UMC

UMC	Peso [Kg/sqm]	Enlucido 2 Lados	STC [dB]
100 mm	3,69	No	40
100 mm	6,14	Si	48
200 mm	6,14	No	45
200 mm	13,72	Si	56

Así la mejor alternativa es la UMC de 200 mm con un peso de 6,14 [Kg/sqm] debido a que aporta un STC de 45.

Otro de los motivos que hacen que la unidad de 200 mm sea la seleccionada, se debe a que su dimensión es estándar y común en el mercado, lo que permitirá; a mas de llegar a una mayor cantidad de clientes, una implementación cómoda de las demás propiedades acústicas.

Hay que tomar en cuenta que en este tipo de unidad existen algunas variaciones de las medidas tanto de altura como de ancho, por este motivo es necesario especificar exactamente a que UMC de 200 mm se hace referencia.

Tabla 36. Dimensiones de la UMC de 200mm

UMC	d=Profundidad [mm]	h= Altura [mm]		w=Ancho [mm]	
200 mm	190	90	190	290	390

Al haber limitado las opciones, el trabajo de determinar que UMC será la ideal es mucho más sencillo; debido a esto, se presentará una tabla anterior que presenta los límites que existen para diseñar un resonador de helmholtz dentro de la unidad.

Tabla 37. Resumen de las Dimensiones Internas Estándar de las UMC

UMC	Profundidad [m]	Altura [m]	Ancho [m]
150 mm	0,08	0,16	0,33
200 mm	0,13	0,16	0,33
300 mm	0,23	0,16	0,84

Las dimensiones de la Tabla 37 son medidas internas las cuales corresponden a la UMC de 200 mm con las siguientes dimensiones:

Tabla 38. Dimensión de la UMC de 200mm a ser Usada

UMC	d=Profundidad [mm]	h= Altura [mm]	w=Ancho [mm]
200 mm	190	190	390

Siendo la UMC de 200 mm la indicada para el trabajo de las demás propiedades acústicas, a continuación se presentará las alternativas de difusión que pueden fabricarse sobre una unidad de mamposterías de concreto las cuales fueron determinadas anteriormente al establecer los límites de la UMC en cuanto a dimensión versus difusión.

El primer caso a tomar en cuenta será la implementación de un difusor MLS en la UMC.

Tabla 39. Resultados para la Implementación de un Difusor MLS en la UMC

Onda Incidente	Difusor MLS			Cara Aplicable de la UMC	Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4}$ [m]	$w = \frac{\lambda}{2}$ [m]	w Total [m]	w=Ancho [m] Disponibile	w Total ≤ w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,1075	0,39	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,215	0,39	Aplicable

Tabla 40. Resultados para la Implementación de un Difusor MLS en 2 UMC

Onda Incidente	Difusor MLS			Cara Aplicable de la UMC x 2	Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4}$ [m]	$w = \frac{\lambda}{2}$ [m]	w Total [m]	w=Ancho [m] Disponibile x 2	w Total \leq w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,11	0,78	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,21	0,78	Aplicable
4K	0,0215	0,043	0,43	0,78	Aplicable

Los resultados presentados anteriormente constatan que la implementación de un difusor MLS en una UMC es factible pero poco útil, esto se debe a que el rango de frecuencias para el que funciona son demasiado altas.

En el caso de que dos unidades de mampostería completen la secuencia para el difusor, el funcionamiento para frecuencias medias mejora, debido a que este empieza a trabajar desde una frecuencia de 2000 Hz aproximadamente en función de la dimensión de la UMC multiplicada por dos.

Después del difusor MLS el siguiente elemento a tomar en cuenta es el difusor QRD, el mismo que presenta los siguientes resultados.

Tabla 41. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con p=5 en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para p = 5			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w=Ancho [m] Disponibile	w Total \leq w=Ancho
2K	16000	0,01	0,05	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,11	0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,22	0,39	Aplicable

Tabla 42. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=7$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 7$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,08	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,15	0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,30	0,39	Aplicable

Tabla 43. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=11$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 11$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,12	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,24	0,39	Aplicable

Tabla 44. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=17$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 17$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,18	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,37	0,39	Aplicable

Tabla 45. Resultados para la Implementación de un Difusor QRD con $p=23$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor QRD para $p = 23$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,25	0,39	Aplicable

La frecuencia más baja a ser difundida es 500 Hz y esta presente en el QRD con una raíz de $p=5$, el mismo que posee un ancho total de 0,30 metros que casi completa el ancho disponible en la UMC de 200 mm, la segunda opción

inmediata después de esta es el QRD con $p=17$ debido a que su ancho total es de 0,37 metros, pero su frecuencia base es de 1000 kHz.

Por último el difusor PRD presenta las siguientes opciones de diseño dentro de los límites de la UMC de 200 mm.

Tabla 46. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=5$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p - 5$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponibile	w Total \leq w =Ancho	
2K	16000	0,01	0,04	0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,09	0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,17	0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,34	0,39	Aplicable	

Tabla 47. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=7$ y $g=3$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p - 7$ y $g - 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponibile	w Total \leq w =Ancho	
2K	16000	0,01	0,06	0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,13	0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,26	0,39	Aplicable	

Tabla 48. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=11$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p - 11$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponibile	w Total \leq w =Ancho	
2K	16000	0,01	0,11	0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,22	0,39	Aplicable	

Tabla 49. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=13$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 13$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,13	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,26	0,39	Aplicable

Tabla 50. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=17$ y $g=3$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 17$ y $g - 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,17	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,34	0,39	Aplicable

Tabla 51. Resultados para la Implementación de un Difusor PRD con $p=19$ y $g=2$ en la UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p - 19$ y $g - 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Ancho [m] Disponible	w Total \leq w =Ancho
2K	16000	0,01	0,19	0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,39	0,39	Aplicable

El hecho de que el diseño se base en una frecuencia baja requeriría de mayor profundidad por parte de la UMC, esto sería inadecuado, tomando en cuenta el hecho de que la UMC tiene un ancho específico que en muchos casos es respetado, la implementación de cualquier difusor con una frecuencia demasiado baja de diseño sería poco práctico.

2.2.1. Implementación de los Elementos Acústicos en la UMC

Una vez revisada todas las alternativas que existen de difusón, y haber establecido que la UMC de 200 mm es la indicada para la implementación de las diferentes opciones acústicas, se procederá a realizar el diseño de la UMC acústica.

Tratar de conservar la forma geométrica estándar de la unidad de mampostería será difícil pero se abordará el tema de la manera menos invasiva. Una forma de manejar este problema está determinado estrictamente por el difusor que se vaya a construir en la UMC, entonces la pregunta es: ¿Qué difusor no afecta considerablemente la forma de la unidad de mampostería?. La respuesta hace referencia a la altura de las ranuras de cada uno de los difusores disponibles, así, la variación de las mismas afectan directamente la forma de la UMC. La alternativa de difusión que cumple con el requisito anteriormente dispuesto es la del difusor MLS, debido a que su altura es constante en todas las ranuras que representan a la secuencia del mismo; pero el inconveniente en este punto es que la difusión generada por la implementación de un difusor en una sola unidad estaría limitada solo para muy altas frecuencias, debido a esto, existe la necesidad de implementar la difusión a partir de dos unidades de mampostería, tomando en cuenta el ancho total que generarían la unión de las mismas, y diseñando en esta superficie el elemento difusor, para de esta manera bajar la frecuencia inicial de difusión.

Tomando en cuenta al difusor tipo MLS como el mejor optionado se dispone a realizar el cálculo de la secuencia para dos unidades de mampostería de la siguiente manera:

Siendo:

$$W_T = 0,39 \times 2 \quad [m]$$

$$W_T = 0,78 \quad [m]$$

$$W = 0,078 \quad [m]$$

Entonces:

$$\lambda = 0,078/10 \quad [m]$$

$$\lambda = 0,156 \quad [m]$$

$$f_0 = 2205,13 \quad [Hz]$$

$$d = \lambda/4 \quad [m]$$

$$d = 0,039 \quad [m]$$

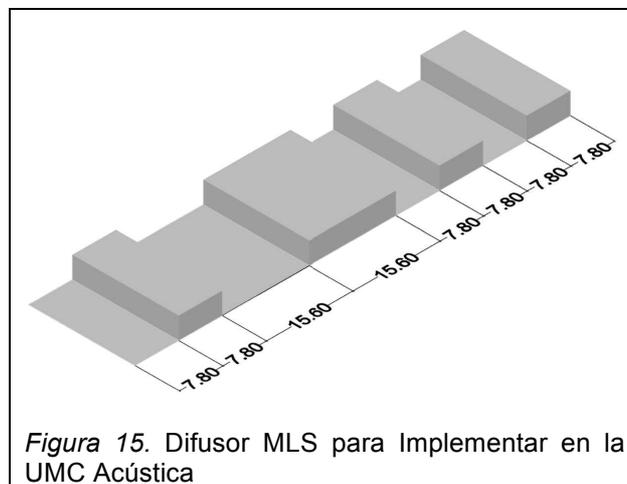
Donde:

W_T = Ancho total del difusor [m].

W = Ancho de cada ranura [m].

d = Profundidad de la ranura [m].

La configuración del difusor MLS se dispone de la siguiente manera:



La disposición del difusor en las 2 UMC de 200 mm se presenta en las Figuras 16 y 17; solucionando el problema que podría causar la aplicación de mortero en los costados de la unidad a la secuencia de difusor, con la implementación de lugares exclusivamente para la aplicación del mismo.

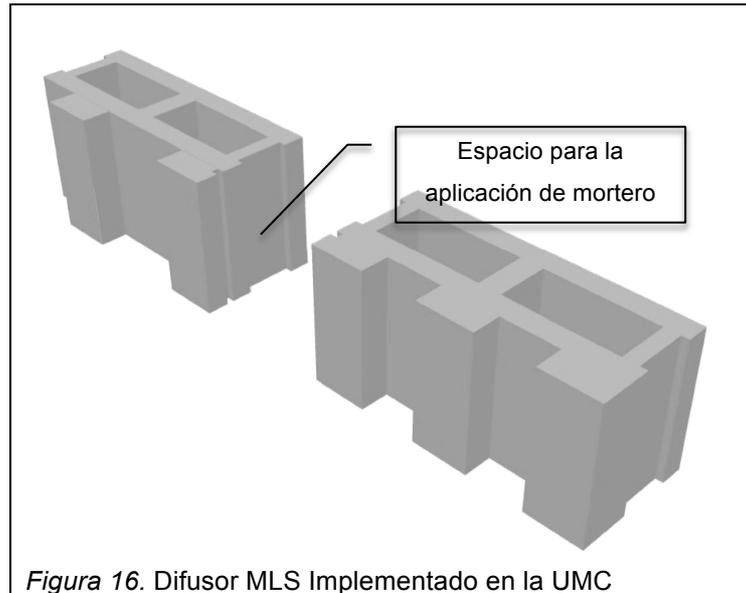
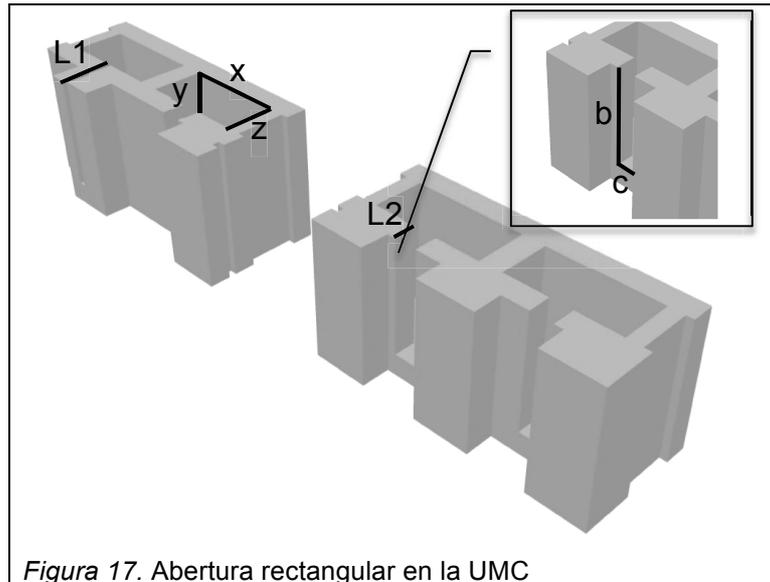


Figura 16. Difusor MLS Implementado en la UMC

Una vez implementado el elemento de difusión en la UMC el siguiente paso es determinar el método de absorción a utilizar. La presencia del volumen de las cavidades internas de la UMC podrían ser ideales para generar absorción a partir del diseño de dos resonadores en cada unidad, por esta razón se realizará el cálculo de que frecuencia será afectada, y si funciona o no como resonador de helmholtz al momento de realizar una abertura rectangular en la ranura de mayor y menor altura justo en el centro del ancho de cada cavidad, para obtener cuellos con un largo específico. La inclusión de material absorbente dentro de la cavidad será absolutamente necesario en este punto debido a que en el caso de que la abertura más el cuello y el volumen no cumplan con las restricciones para actuar como masa y compliancia acústica, el material absorbente ayudará a que este dispositivo se desempeñe cercanamente como un resonador.

Así el supuesto resonador estaría dispuesto de las siguiente forma en las UMC.



Las dimensiones del resonador son:

Longitudes de cuello = 0,07 y 0,03 [m]

$$x = 0,15 \quad [m]$$

$$y = 0,16 \quad [m]$$

$$z = 0,07 \quad [m]$$

$$b = 0,16 \quad [m]$$

$$c1 \text{ y } c2 = 0,01 \text{ y } 0,03 \quad [m]$$

Una vez identificado el volumen de la cavidad, así como la longitud del cuello y radio equivalente de la abertura rectangular, estas serán sometidas a las restricciones que son necesarias para que la cavidad actúe como compliancia acústica y el cuello como masa acústica.

Para evaluar lo mencionado anteriormente se procede de la siguiente manera:

- Condición:

$$l \leq \lambda/16$$

Donde:

l = Longitud del cuello [m].

$$l = 0,07 \quad [m]$$

Entonces:

$$\lambda = 1,12 \quad [m]$$

- Condición:

$$0,0027\sqrt{\lambda} \leq a \leq 0,029\lambda$$

Donde:

a = Radio equivalente [m].

$$a = \sqrt{bc/\pi} \quad [m] \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$a = 0,023 \quad [m]$$

Entonces:

$$2,86 \times 10^{-3} \leq a \leq 0,032$$

- Condición:

$$V = xyz \quad [m^3]$$

$$x, y, z \leq \lambda/16$$

Donde:

$$x = 0,15 \quad [m]$$

$$y = 0,16 \quad [m]$$

$$z = 0,07 \quad [m]$$

Podemos observar que las dos primeras condiciones se cumplen, pero la tercera está lejos de entrar en los límites planteados en función de $\lambda/16$, entonces, si la cavidad y el cuello funcionan o no en conjunto para crear el efecto de absorción por resonancia es todavía incierto. Consecuencia de esto, el siguiente cálculo para determinar a que frecuencia podría afectar esta forma será aproximado y puesto a prueba en las mediciones correspondientes.

Sí:

$$a = 0,026 \quad [m]$$

$$l = 0,07 \quad [m]$$

$$V = 1,68 \times 10^{-3} \quad [m^3]$$

Entonces:

$$C_A = 1,20 \times 10^{-8} \quad [m^5/N]$$

$$M_A = 79,92 \quad [Kgr/m^5]$$

$$f_0 = 162,31 \quad [Hz]$$

Los resultados presentados son unicamente para el primer resonador en el que el cuello del mismo coincide con una altura correspondiente a +1 en el difusor. Para el segundo tipo de resonador se presentan las siguientes respuestas a las condiciones, así como los resultados de frecuencia en la que podría estar trabajando el resonador.

- Condición:

$$l \leq \lambda/16$$

Donde:

l = Longitud del cuello [m].

$$l = 0,03 \quad [m]$$

Entonces:

$$\lambda = 0,48 \quad [m]$$

- Condición:

$$0,0027\sqrt{\lambda} \leq a \leq 0,029\lambda$$

Donde:

a = Radio equivalente [m].

$$a = \sqrt{bc/\pi} \quad [m]$$

$$a = 0,039 \quad [m]$$

Entonces:

$$1,87 \times 10^{-3} \leq a \leq 0,013$$

• Condición:

$$V = xyz \quad [m^3]$$

$$x, y, z \leq \lambda/16$$

Donde:

$$x = 0,15 \quad [m]$$

$$y = 0,16 \quad [m]$$

$$z = 0,07 \quad [m]$$

En el caso de la forma del segundo resonador, el mismo no cumple con las dos últimas condiciones y la frecuencia que será afectada aproximadamente se dispone a continuación:

Sí:

$$a = 1,53 \times 10^{-3} \quad [m]$$

$$l = 0,03 \quad [m]$$

$$V = 1,68 \times 10^{-3} \quad [m^3]$$

Entonces:

$$C_A = 1,20 \times 10^{-8} \quad [m^5/N]$$

$$M_A = 23,71 \quad [Kgr/m^5]$$

$$f_0 = 297,98 \quad [Hz]$$

Tomando en cuenta las restricciones que se suponen para el diseño de resonadores de helmholtz los resultados anteriores simplemente no servirían, pero los tomaremos en cuenta para poder compararlos con las mediciones reales y evaluar que efecto tiene el material absorbente al momento de aplicarlo dentro de la cavidad.

Después de haber incluido a la absorción y a la difusión en la UMC, el último paso es determinar que se hará para mejorar el aislamiento de la unidad de mampostería. Debido a que la cámara de aire del bloque fue alterada para implementar la absorción, una forma de compensarlo será crear cámaras de aire pequeñas en la cara externa del bloque generando así la siguiente forma en la UMC.

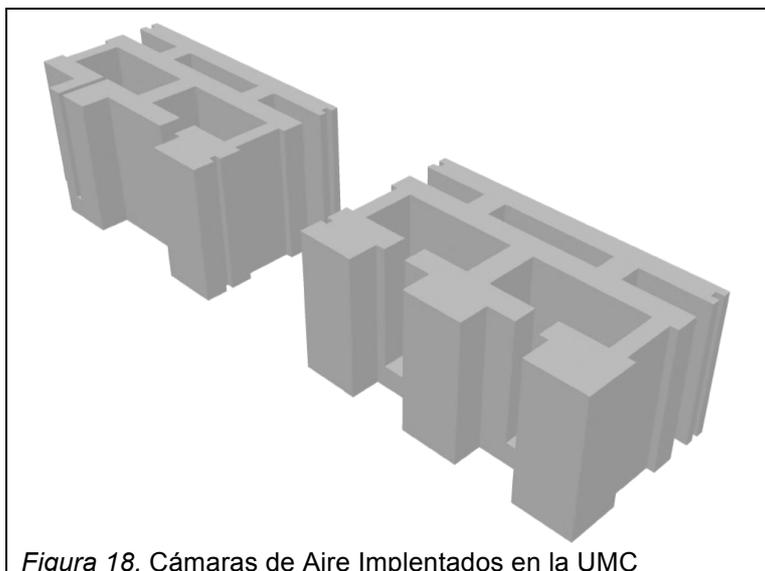


Figura 18. Cámaras de Aire Implementados en la UMC

Una vez terminado el diseño de la UMC el siguiente paso será fabricar el molde de el cual se derivarán las UMC para luego comprobar y determinar las propiedades acústicas mediante mediciones *in situ* para obtener valores reales y obtener una mejor visión de las utilidades del mismo en terreno.

2.2.2. Métodos de Fabricación Disponibles para la UMC Acústica

En el Ecuador las unidades de mampostería, o mejor conocidos como bloques de hormigón, son piezas que no pueden faltar en la mayoría de las edificaciones. La fabricación de estos elementos se realiza en mayor parte por

medio de moldes y maquinaria que ayuda a compactar la mezcla. Estas máquinas se encuentran en dos presentaciones diferenciadas por factores como la cantidad de bloques hombre y la consistencia final de la unidad.

La primera presentación de la máquina en la que se monta el molde trabaja de manera manual al momento de realizar el prensado del material. La consolidación del concreto antes del prensado se da por medio de vibración horizontal a través de un motor eléctrico que permite mover al molde. Este medio de fabricación posee varias desventajas, entre estas, las más importantes y representativas son el maltrato del operador, y la tendencia a obtener bloques poco resistentes y con mayor desperdicio en la primera etapa de fabricación.

La segunda opción trabaja con una máquina que utiliza una prensa hidráulica y vibración en ejes tanto vertical como horizontal para obtener un bloque compacto y mejor consolidado, de manera mucho más eficiente y con una reducción de casi el 100% en el desperdicio que se podría generar. La cantidad de unidades que produce un hombre incrementa considerablemente en comparación a la bloquera manual. La fabricación en este tipo de bloqueras hidráulicas requiere de un mínimo de 2 personas para fabricar en promedio 1200 bloques por día.



Figura 19. Bloquera con Prensado Hidráulico y Vibración en 2 Ejes

En consecuencia de lo anteriormente redactado, la mejor opción para obtener mejores resultados al momento de la fabricación de unidades de mampostería es utilizar una bloquera que cuente con las siguientes características:

- Prensado hidráulico
- Vibración en el eje horizontal
- Vibración en el eje vertical

Es necesario mencionar que existen factorías totalmente automatizadas en estos procesos, y la necesidad de personal en muchos casos es menor, generando una mayor cantidad de bloques diarios. Los métodos que se mencionaron anteriormente y fueron tomados en cuenta en la decisión son posiblemente encasillables en una fabricación semi artesanal.

2.2.3. Fabricación del Molde para la UMC Acústica

En este punto el molde será fabricado en función de las medidas de las UMC acústicas; es necesario mencionar que se tomarán en cuenta a dos unidades, debido a que la unión de las mismas forman una secuencia de difusión, así de esta manera las dimensiones de las unidades juntas se presentan a continuación:

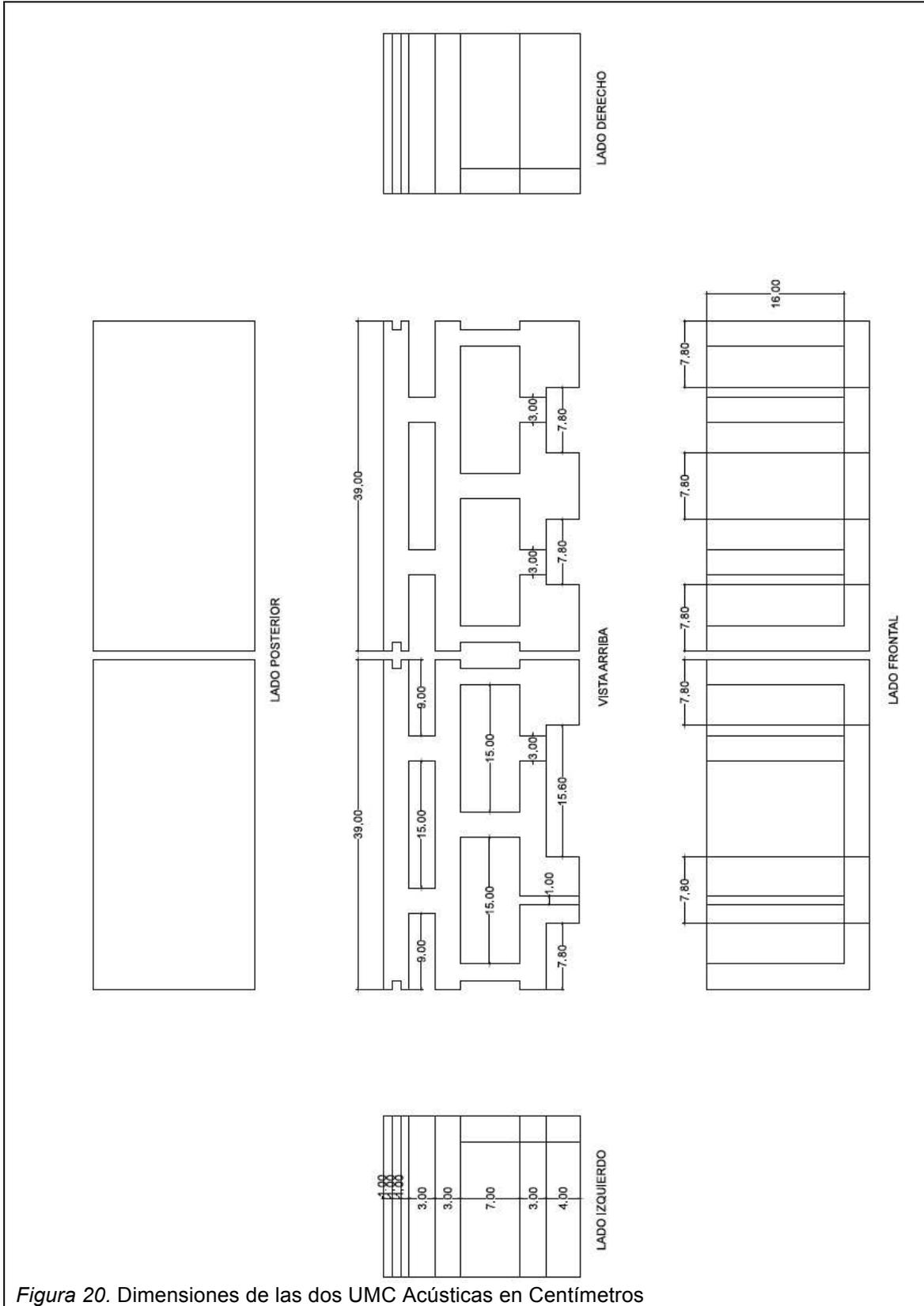


Figura 20. Dimensiones de las dos UMC Acústicas en Centímetros

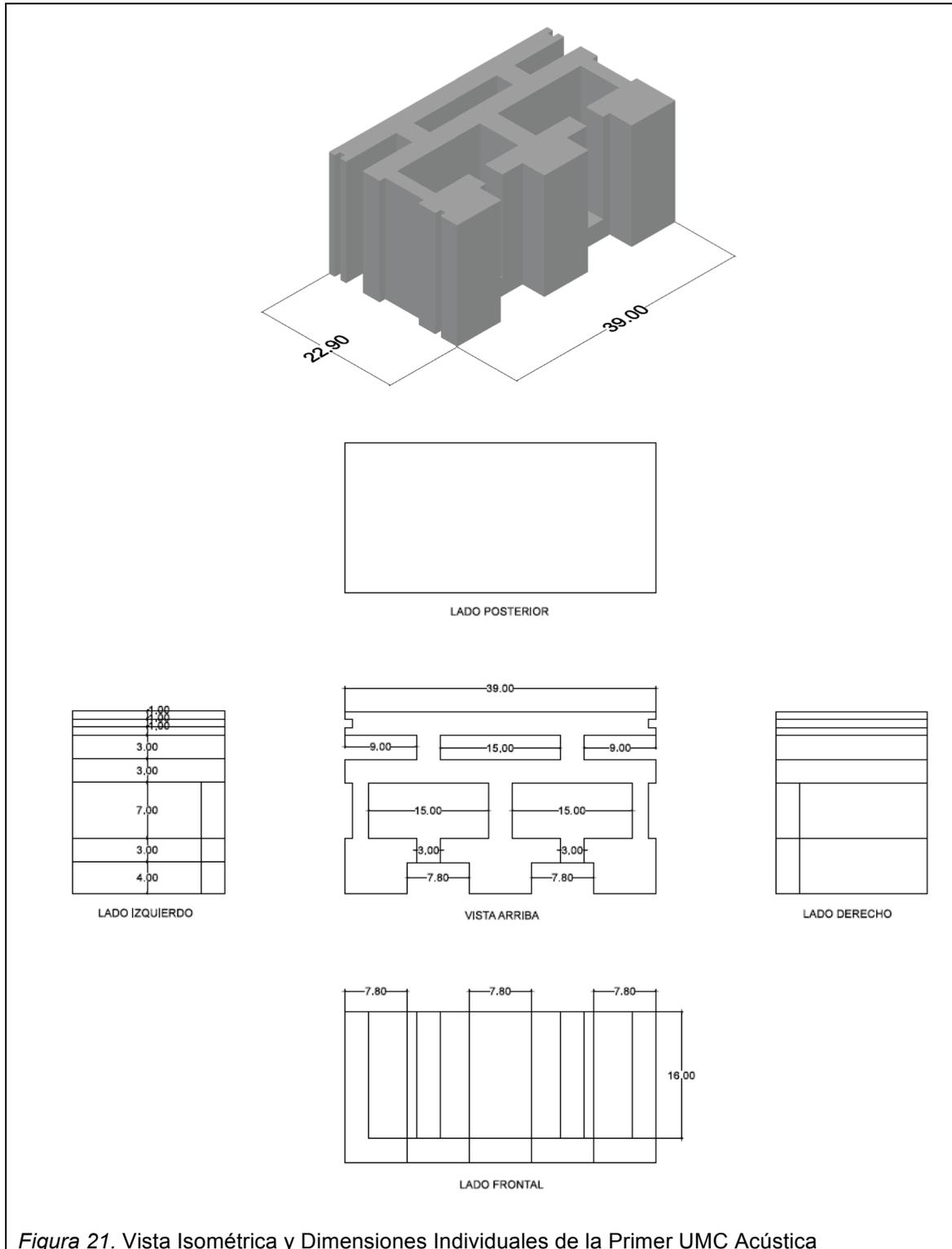


Figura 21. Vista Isométrica y Dimensiones Individuales de la Primer UMC Acústica

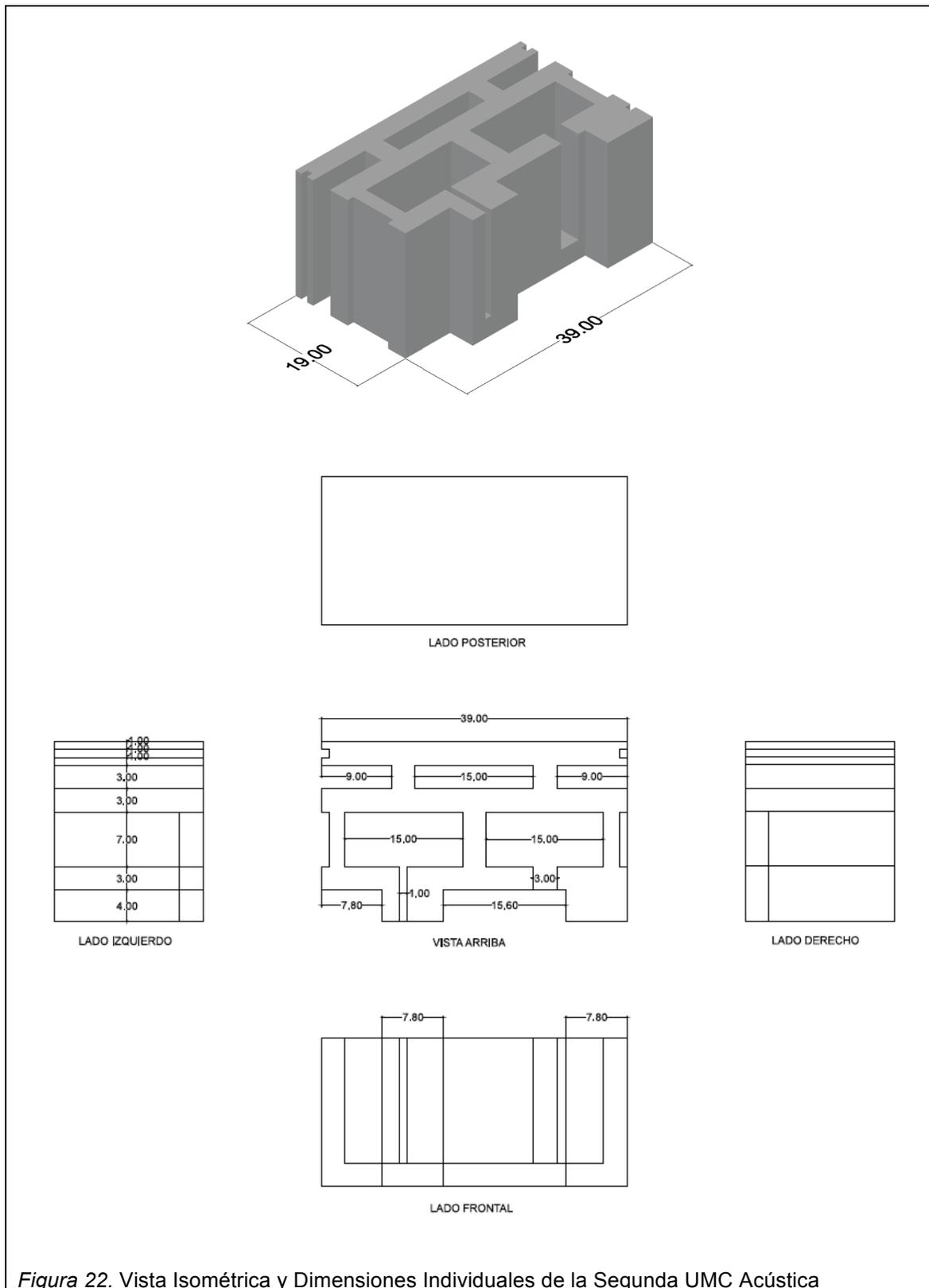


Figura 22. Vista Isométrica y Dimensiones Individuales de la Segunda UMC Acústica

Una vez dispuesta las dimensiones reales de la UMC acústica, la fabricación de cada una de las partes del molde se realizará con la siguiente lista de materiales:

- $\frac{1}{2}$ plancha de acero (negro) de 2 mm de espesor.
- $\frac{1}{2}$ plancha de acero (negro) de 8 mm de espesor.
- $\frac{1}{4}$ plancha de acero (negro) de 10 mm de espesor.
- 1 $\frac{1}{2}$ varilla lisa redonda de 5/8.
- $\frac{1}{2}$ angulo de 1 $\frac{1}{2}$ X 3,16.
- 1 metro de tubo estructural cuadrado 1 1/4 .
- 1 metro de varilla cuadrado de media.
- 1 platina de 1 pulgada 8 mm de espesor.
- 1 paltina de 1 pulgada 10 mm de espesor.
- 5 Kilos de electrodos 6011.
- 2 kilos de electrodos 6013.



Figura 23. Electrodo 6011

Una vez adquirido el material para la fabricación del molde se procede a cortar las laminas en las diferentes piezas necesarias para la construcción de lo siguiente:

- Vaciados de la UMC.
- Paredes del molde y Prensa.
- Orejas de sujeción a la bloquera.
- Orejas de sujeción a la chumatera.



Figura 24. Vaciados



Figura 25. Paredes de Molde (secuencia MLS)



Figura 26. Orejas para Sujeción a la Chumasera

Después de haber fabricado todos los elementos correspondientes al molde y a la prensa se procede a la instalación de los mismos en la bloquera hidráulica para de esta manera comenzar con las pruebas previas a la fabricación de las

unidades de mampostería acústica. Una vez revisado el correcto funcionamiento del molde en la máquina, la misma esta lista para recoger la mezcla de hormigón y empezar la producción.

2.2.4. Contenido de la Mezcla de Materiales para Fabricar la UMC Acústica

La mezcla del material cementante con los áridos será la misma empleada en las unidades de mampostería disponibles actualmente en el mercado ecuatoriano. La misma contiene cemento portland tipo GU, casacajo y arena negra. Para adherir los elementos se utiliza agua potable.

2.2.5. Mediciones de las Propiedades Acústicas de la UMC Acústica

Para las mediciones de las propiedades acústicas se tomará en cuenta los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica, lo mismo que se respaldará en base a las disposiciones de normas internacionales como las ISO o ASTM.

Los requerimientos de algunas de las normas estan regidos a laboratorios especializados en ciertos temas como es el caso de la medición de la absorción acústica en salas reverberantes; debido a esto, la emulación de este tipo de recintos; no disponibles en el Ecuador, será difícil de conseguir pero se procurará encontrar recintos con propiedades similares a los dispuestos por la norma que ayuden a determinar las propiedades de la UMC acústica de forma práctica y con resultados reales en terreno.

2.2.5.1. Difusión Acústica en la UMC

Para el caso de la difusión acústica no se realizará ninguna medición, los resultados de esta propiedad estarán sustentados por la base matemática de la secuencia MLS que en función del ancho total de las dos unidades de mampostería esta calculado de la siguiente manera:

Siendo:

$$W_T = 0,39 \times 2 \quad [m]$$

$$W_T = 0,78 \quad [m]$$

$$W = 0,078 \quad [m]$$

Entonces:

$$\lambda = 0,078/10 \quad [m]$$

$$\lambda = 0,156 \quad [m]$$

$$f_0 = 2205,13 \quad [Hz]$$

$$d = \lambda/4 \quad [m]$$

$$d = 0,039 \quad [m]$$

2.2.5.2. Absorción Acústica en la UMC

Para la propiedad de la absorción acústica se procederá de acuerdo a la norma ISO 354:2003 procurando cumplir con los requerimientos en la misma.

La ISO 354:2003 dispone que la medición se realice en una sala reverberante, la misma no esta disponible en Ecuador, por este motivo, la medición se realizó en un espacio en el que no existían paredes paralelas, con un tiempo de reverberación cercano a 4 segundos, simulando paneles de difusión con parabrisas en forma convexa y con un volumen cercano a 90 m³, similar a lo que requiere la norma.

Para presentar los resultados de la medición se procederá de acuerdo al modelo de informe dispuesto en la ISO 354:2003.

a) Identificación del Ensayo

a. Entidad que Realiza el Ensayo

El ensayo no esta realizado por ninguna entidad registrada.

b. Cliente

Este ensayo se realiza para Pablo Arturo Vega Vásquez.

c. Identificación del Informe

Por practicidad el informe a continuación llevará como etiqueta MEDICIÓN 1, el mismo es parte de la tesis: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA ACÚSTICA.

d. Fecha y Lugar de Realización del Ensayo

Las mediciones se realizaron el 31/05/2013 en un galpón ubicado en la calle Ines Gangotena S/N, Sector Inchalillo.

b) Objeto y Material Ensayado

El objeto del ensayo es determinar la absorción acústica de varias unidades de mampostería dispuestas en forma normal en el piso según se lo haría en forma vertical en una fábrica, la muestra ensayada ocupa una superficie de 3,64 m².



La unidad de mampostería ensayada posee las siguientes dimensiones: 19 cm de alto, 39 cm de ancho y 23 cm de profundidad, con un peso de 19,95 Kg. La unidad de mampostería posee 2 ranuras en forma de resonador para bajas frecuencias, las mismas están rellenas de lana mineral de 5 cm de espesor.

Las unidades de mampostería se ubicaron en el suelo con las siguientes dimensiones: 1,33 x 2,73 metros. Los bordes perimetrales de la muestra se cubrieron con vidrio de 0,005 metros de espesor.

El cuarto donde se realizó el ensayo no posee superficies paralelas, se utilizaron parabrisas en forma convexa dispuestos en forma arbitraria para generar difusión en el recinto, y el volumen de la cámara fue de 86,58 m³.



Figura 28. Medición Tiempo de Reverberacion sin Muestra

c) Metodología del Ensayo

a. Definición del Índice de Absorción Acústica

El coeficiente de absorción sonora representado por α_s debe determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad \left[\frac{\text{Sabine}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

α_s = Coeficiente de absorción $\left[\frac{\text{Sabine}}{\text{m}^2} \right]$.

$A_T = A_2 - A_1 \quad [\text{m}^2]$.

A_2 = Representa el área de absorción equivalente de la cámara con la muestra de ensayo $[\text{m}^2]$.

A_1 = Representa el área de absorción equivalente de la cámara sin la muestra de ensayo $[\text{m}^2]$.

b. Descripción del Equipo Utilizado

El equipo a utilizarse en el ensayo se presenta en la siguiente lista:

- Software Spectra Plus 5.0.

- Interfaz de Audio M-AUDIO M-TRACK.
- Micrófono de Medición Audix TM1.
- Fuente Monitor de Estudio KRK ROKIT 8 con SUB.

c. Proceso de Medición del Tiempo de Reverberación

La generación de ruido de banda ancha (ruido rosa) se realizó por medio de los parlantes KRK ubicados en tres posiciones diferentes con diez posiciones de micrófono diferentes en cada una, verificando la estabilidad frecuencial de la sala en cada punto.

a) Resultados del Ensayo

A continuación se mostrarán los resultados mas representativos obtenido en el ensayo para tener una mejor idea de lo que paso en la cámara sin la muestra de ensayo y con la muestra de ensayo.

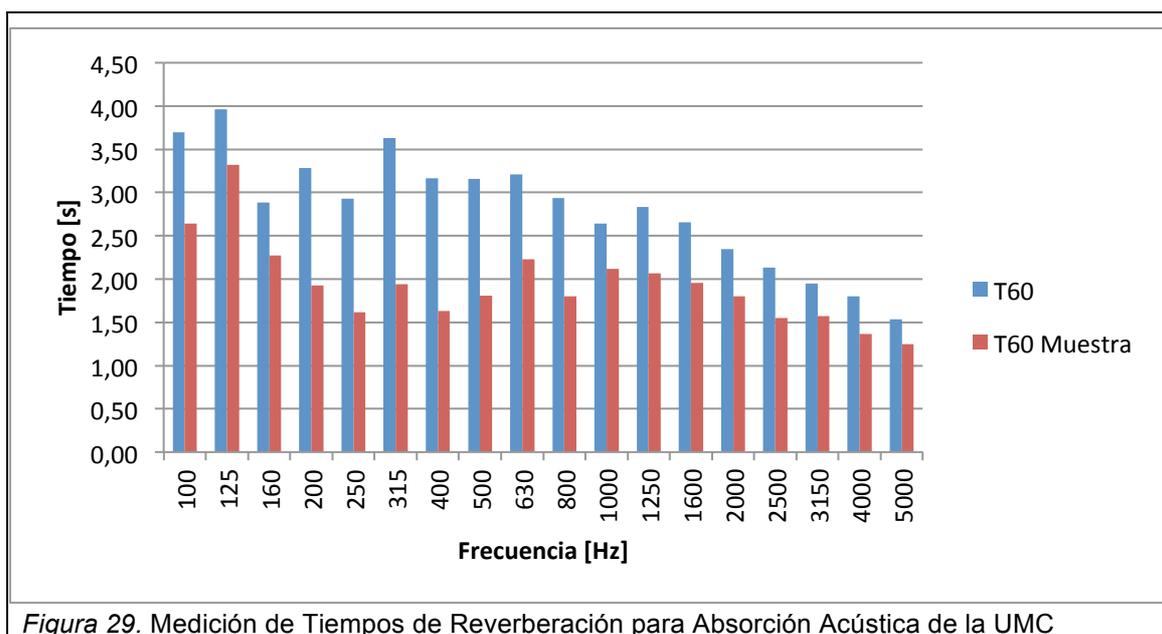


Tabla 52. Resultados de la Medición de Absorción

Frecuencia [Hz]	T60 sin Muestra [s]	A1 [m ²]	T60 con Muestra [s]	A2 [m ²]	AT [m ²]	Aobj	α_s
100	3,70	-17,77	2,64	-16,26	1,51	0,03	0,41
125	3,96	-18,02	3,32	-17,34	0,67	0,01	0,19
160	2,89	-16,71	2,27	-15,41	1,30	0,03	0,36
200	3,28	-73,11	1,93	-70,13	2,98	0,06	0,82
250	2,93	-72,60	1,62	-68,74	3,86	0,08	1,06
315	3,63	-73,51	1,94	-70,17	3,34	0,07	0,92
400	3,17	-210,91	1,63	-206,77	4,14	0,08	1,14
500	3,16	-210,90	1,81	-207,62	3,28	0,07	0,90
630	3,21	-210,97	2,23	-209,05	1,92	0,04	0,53
800	2,94	-417,90	1,80	-414,91	2,99	0,06	0,82
1000	2,64	-417,37	2,12	-416,07	1,30	0,03	0,36
1250	2,84	-417,73	2,07	-415,91	1,81	0,04	0,50
1600	2,65	-720,42	1,95	-718,54	1,88	0,04	0,52
2000	2,35	-719,74	1,80	-717,94	1,79	0,04	0,49
2500	2,13	-719,13	1,55	-716,70	2,43	0,05	0,67
3150	1,95	-1587,72	1,57	-1586,01	1,71	0,03	0,47
4000	1,80	-1587,13	1,37	-1584,67	2,46	0,05	0,67
5000	1,53	-1585,78	1,25	-1583,72	2,06	0,04	0,57

Una vez obtenidos los resultados de T60 se realizan los cálculos para determinar el coeficiente de absorción por banda de tercio de octava, para de esta manera evaluar el comportamiento frecuencial que tiene la unidad de mampostería acústica en función de las propiedades de absorción que se implementaron en la misma. De esta manera los resultados de α_s son los siguientes.

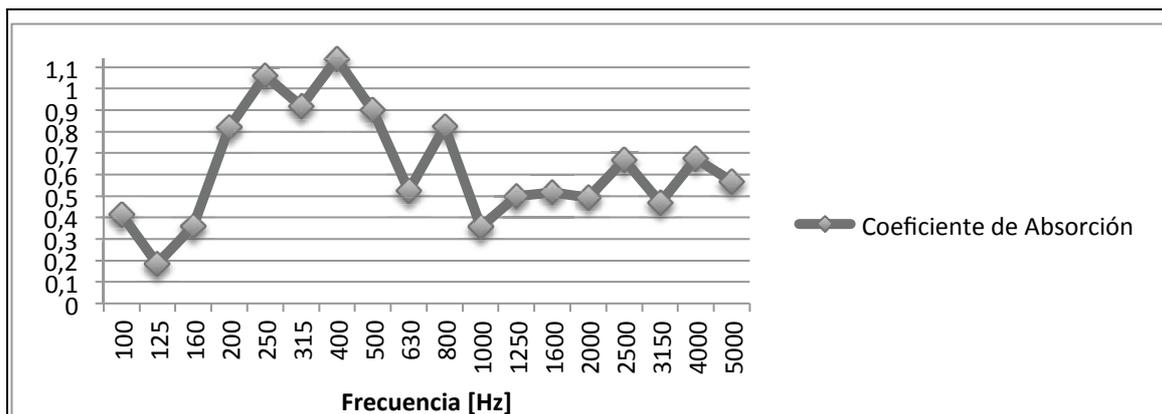


Figura 30. Coeficiente de Absorción α_s por Banda de Tercio de Octava de la UMC Acústica

En el comportamiento frecuencial de la UMC acústica se observa que en ciertas frecuencias el valor del coeficiente de absorción supera el límite que se dispone para un coeficiente de absorción, que es 1, esto puede suceder debido a que:

“El coeficiente de absorción sonora evaluado a partir de mediciones de tiempo de reverberación puede tomar valores superiores a 1,0 (por ejemplo, a causa de efectos de difracción) y, por lo tanto, α_s no se expresa como porcentaje.” (ISO 354:2003. Apartado 3.9. Nota 2. p.7).

Una vez señalado lo anterior se procede a obtener el coeficiente de absorción promedio el cual presenta el siguiente valor como resultado:

$$\alpha_{promedio} = 0,63$$

Como adicional los resultados de absorción sonora equivalente unitaria de cada UMC acústica se muestran en la siguiente figura.

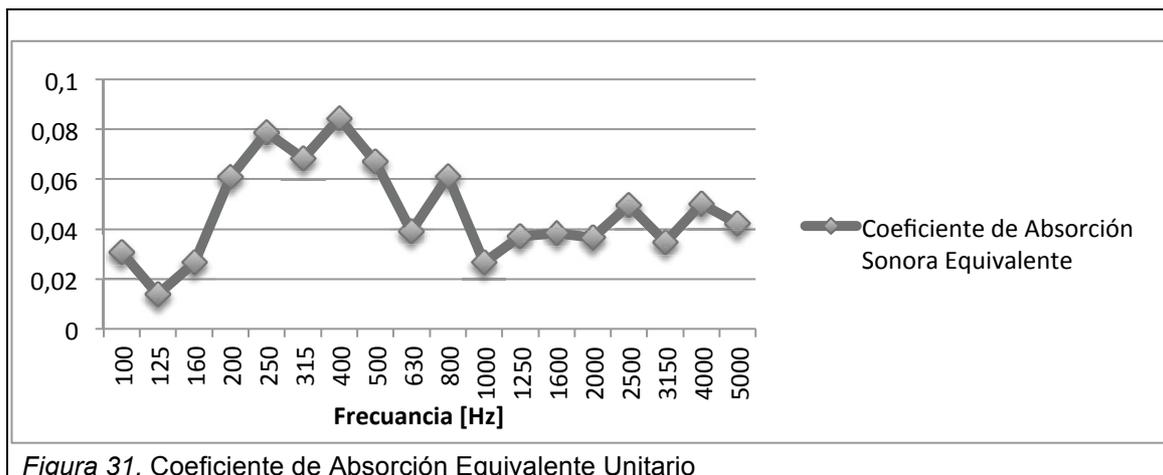


Figura 31. Coeficiente de Absorción Equivalente Unitario

2.2.5.3. Aislamiento Acústico en la UMC

La evaluación que se realizó para determinar esta característica acústica tuvo como factor determinante el lugar donde se efectuó el ensayo. Las condiciones de las salas utilizadas fueron evaluadas en aspectos de volumen y uniformidad, considerando disposiciones como:

- La sala de mayor volumen se utilizará como recinto emisor.
- La geometría de la sala receptora no debe ser complicada.
- El recinto receptor será el de menor volumen.
- En el caso de que la sala de mayor volumen no posea una geometría complicada y la sala de menor volumen si, se utilizará la sala mas uniforme como recinto de recepción.

Los puntos anteriormente citados son tomados en cuenta para la medición; a los mismos se adhiere características propias del recinto que fueron factores que influyeron en la selección específica de este lugar; las mismas son:

- El recinto consistía en una sala comedor rectangular.
- El grosor de las paredes del recinto era de 68,84 cm.
- Las paredes del recinto eran de adobe.
- El piso del recinto consistia en tablonces de 2 cm de grosor trabados indistintamente.

- El recinto no poseía puntos de flanqueo evidentes como puertas que conecten directamente a los recintos.
- El recinto esta lejos de fuentes de ruido que pudieran afectar los resultados en las mediciones.

El procedimiento que se llevará a acabo para determinar los valores correspondientes al aislamiento acústico seguirá parámetros descritos por la norma ISO 140-4:1999 e ISO 717-1;1997, cualquier desviación en este procedimientos será especificado como requiere la misma en el siguiente apartado solicitado para el informe de ensayo ISO 140-14:2005.

a) Breve Descripción del Procedimiento y del Equipo Utilizado en el Ensayo

a. Descripción del Equipo Utilizado

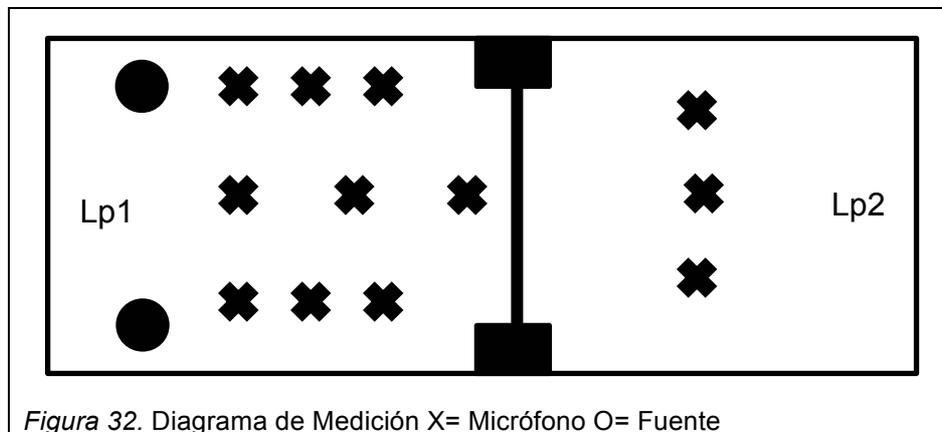
El equipo a utilizarse en el ensayo se presenta en la siguiente lista:

- Software Spectra Plus 5.0.
- Interfaz de Audio M-AUDIO M-TRACK.
- Micrófono de Medición Audix TM1.
- Fuente Monitor de Estudio KRK ROKIT 8.

b. Procedimiento de Medición del Índice de Aislamiento

Se generó ruido de banda ancha (ruido rosa) para de esta manera obtener los resultados de nivel de presión sonora por banda de tercio de octava tanto en la sala emisora como en la sala receptora. Se utilizaron dos posiciones de fuente como recomienda la ISO 140-14:2005 y la ISO 140-4:1999. Diferentes puntos de la sala emisora fueron evaluados verificando la estabilidad frecuencial de la misma, para de esta manera evitar errores significativos causados por variaciones grandes de nivel en cada frecuencia. Luego de esto se obtuvo los resultados de nivel ubicando el micrófono de medición en la sala receptora. Es necesario mencionar que los únicos puntos de flanqueo; representados por puertas que no estaban directamente conectados, fueron sellados con tiras de lana mineral.

El siguiente diagrama ayudará a identificar las disposiciones de las fuentes, así como los puntos de medición.



b) Resultados del Ensayo

Los resultados provenientes de la medición de aislamiento (Tabla 53) muestran valores de pérdida en decibeles provocados por la división del recinto por medio de la partición común construida UMC. La tabla muestra valores R' (reducción sonora aparente) por tercios de octava. Para facilitar la categorización de la aislación que provee la pared se utilizó los resultados por

bandas para calcular el indicador $R'w$ (índice de reducción sonora aparente ponderado), el cual es un valor único global de la aislación de pared. El $R'w$ se determina por medio una curva de referencia que se adapta al resultado de las diferencias de nivel entre las salas, la superficie de la pared y la cantidad de absorción acústica en el recinto receptor. La Tabla 53 presenta los resultados de la medición, y la Figura 32 los compara con la curva Rw52 para determinar el $R'w$ de la partición.

Tabla 53. Resultados de la Medición de Aislamiento

Frecuencia [Hz]	NPS Emisor	NPS Receptor	NPS 1 – NPS 2	T60 Receptor	Absorción Receptor	R'
100	69,55	39	30,43	0,50	8,63	28,37
125	71,14	36	35,61	0,47	9,13	33,30
160	73,62	36	37,61	0,50	8,63	35,55
200	72,87	35	38,18	0,17	25,88	31,34
250	72,82	34	39,30	0,19	22,18	33,13
315	73,83	32	42,00	0,33	12,94	38,17
400	75,36	29	46,10	0,31	14,12	41,90
500	76,02	29	47,32	0,31	14,12	43,11
630	73,90	24	50,31	0,28	15,53	45,69
800	72,17	20	51,78	0,25	17,25	46,71
1000	74,42	22	52,00	0,25	17,25	46,93
1250	72,57	24	48,51	0,31	14,12	44,31
1600	69,62	24	46,06	0,36	11,94	42,58
2000	73,19	24	49,44	0,39	11,09	46,28
2500	74,64	23	51,24	0,36	11,94	47,77
3150	74,47	23	51,48	0,47	9,13	49,16

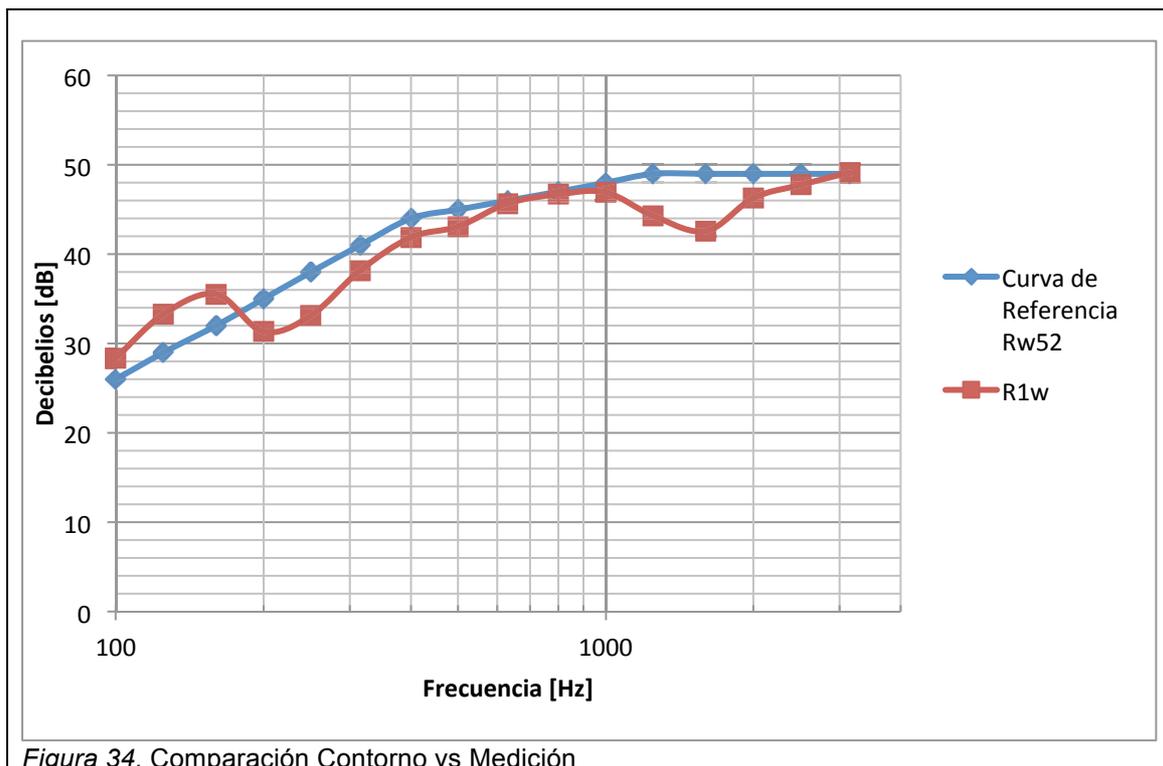


Figura 34. Comparación Contorno vs Medición

Una vez obtenido los valores de reducción sonora aparente R' para cada frecuencia se procede a la corrección correspondiente a partir del valor seleccionado para adaptar la curva de referencia R_{w52} a la medición por banda de tercio de octava representado en la Tabla 54 como dispone la ISO 717-1:1997.



Figura 35. Fábrica con Unidades de Mampostería Acústicas

Tabla 54. Corrección de la Curva para Obtener el $R'w$

Frecuencia [Hz]	Valor de Referencia Rw52	-7	Valor de Referencia Rw52 (- 7)
100	33		26
125	36		29
160	39		32
200	42		35
250	45		38
315	48		41
400	51		44
500	52		45
630	53		46
800	54		47
1000	55		48
1250	56		49
1600	56		49
2000	56		49
2500	56		49
3150	56		49

Una vez obtenido el valor de $R'w$ el paso siguiente es determinar los términos de adaptación espectral para la implementación de los mismos en los valores finales del $R'w$ como requiere la ISO 717-1,1997 según el siguiente ejemplo:

$$R'w(C; C_{tr}) \text{ [dB]}$$

Estos valores de adaptación espectral permiten tener una idea más clara de la cantidad de aislamiento en diferentes situaciones ya normalizadas según la ISO 717-1,1997.

Tabla 55. Adaptación Espectral para Índice de Reducción Aparente

Frecuencia [Hz]	Espectro Li1	Li1-R1	Espectro Li2	Li2-R1
100	-29	1,83344E-06	-20	1,45636E-05
125	-26	1,17522E-06	-20	4,67865E-06
160	-23	1,39738E-06	-18	4,4189E-06
200	-21	5,83281E-06	-16	1,8445E-05
250	-19	6,1177E-06	-15	1,5367E-05
315	-17	3,03836E-06	-14	6,06232E-06
400	-15	2,04225E-06	-13	3,23675E-06
500	-13	2,44879E-06	-12	3,08285E-06
630	-12	1,70338E-06	-11	2,14443E-06
800	-11	1,69577E-06	-9	2,68762E-06
1000	-10	2,02917E-06	-8	3,21602E-06
1250	-9	4,67042E-06	-9	4,67042E-06
1600	-9	6,94382E-06	-10	5,51567E-06
2000	-9	2,96216E-06	-11	1,869E-06
2500	-9	2,10614E-06	-13	8,38468E-07
3150	-9	1,52668E-06	-15	3,83485E-07

Tabla 56. Terminos de Adaptación Espectral $R'w$

Low Freq C	Low Freq Ctr
-2	-5

Las mediciones se realizaron en base a condiciones que dispone la norma ISO 140-4:1999 e 717-1,1997, la misma condiciona que:

- El rango de frecuencias considerado, corresponde a valores entre 100 Hz y 3150 Hz.
- La suma de las desviaciones desfavorables sea la mas alta sin sobrepasar un nivel de 32 dB para el caso de mediciones realizadas en bandas de tercio de octava.

Si se satisface los puntos anteriores el valor de $R'w$ pertenece a la curva de referencia en la banda de 500 Hz, así el $R'w$ de la partición con la UMC es:

$$R'w(C; C_{tr}) = 45 (-2; -5) [dB]$$

Cabe aclarar que los terminos de adaptación espectral Low Freq C y Low Freq Ctr ayudan a aclarar situaciones relevantes como los tipos de fuente de ruido; como serían los juegos de niños para el Low Freq C, o el tráfico urbano para el Low Freq Ctr. Entendido lo anterior la ISO 717-1,1997 dispone la siguiente tabla.

Tabla 57. Tipos de Fuentes de Ruido vs Terminos de Adaptación Espectral Calculados

Tipo de Fuente de Ruido	Termino de Adaptación Espectral Adecuado
Actividades humanas (conversación, música, radio, televisión) Juegos de niños Trenes a velocidades medias y altas Autopista a más de 80 km/hora Aviones a reacción a distancias cortas Factorías que emiten que emiten ruido de frecuencias medias y altas	C Obtenido 42 [dB]
Tráfico urbano Trenes a velocidades bajas Aviones a propulsión Aviones a reacción a grandes distancias Música de discotecas Factorías que emiten ruido en frecuencias bajas y medias	Ctr Obtenido 40 [dB]

2.2.6. Valores Óptimos de Aislamiento vs UMC Acústica

A continuación se realiza una comparación del valor de aislamiento resultante de la UMC acústica, para realizar esto al valor $R'w$ medido *in situ* se le sumarán 3 decibeles obteniendo así un valor estimado del índice Rw de 48 dB. El Rw es el “Índice de Reducción Sonora” este índice indica la aislación a ruido aéreo que tiene una pared y se la mide en laboratorios de medición donde las transmisiones por flancos son nulas. Son los valores Rw los que se muestran en catálogos de paredes para mostrar su capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo.

En este caso la medición no se la realizo en condiciones de laboratorio, es por eso que se obtiene el $R'w$. Sin embargo por experiencia se conoce que el valor $R'w$ de una pared es menor al valor Rw entre 3 [dB] y 6 [dB]. Esta esta es la razón para aumentar 3 [dB] al valor $R'w$ calculado. Con el Rw estimado se puede realizar varias comparaciones como i) comparar con el Rw de otros tipos de paredes, ii) cumplimiento de aislación sugeridas en manuales y normativas etc.

Tabla 58. Grado de Privacidad de la Palabra vs Valores Obtenidos

Rw Pared divisora		Rw estimado Pared con UMC acústica
≤25	La voz normal se entiende perfectamente	
30	La voz alta se entiende bastante bien	
35	La voz alta es audible pero no se entiende	
42	La voz alta se escucha como un murmullo	
45	La voz alta se percibe con esfuerzo	
48	La voz alta es escasamente audible	48
>50	La voz alta no se escucha en lo absoluto	

Tabla 59. Ambientes vs Valores Obtenidos

Rw Mínimo Pared divisora	Divisor entre	Rw Estimado Pared con UMC acústica
37	Ambientes de una misma vivienda (casa o departamento)	
40	Aulas y pasillos o establecimientos de una unidad educativa	
44	Aulas en establecimientos educativos	
44	Apartamentos u oficinas en un mismo edificio	
44	Apartamentos y espacios comunes	
48	Paredes medianeras	48
48	Apartamentos u oficinas de edificios colindantes	48
56	Locales públicos y viviendas	
56	Locales ruidosos y habitaciones de hospedaje u hospital	
56	Sala de música en establecimientos educativos	
56	Salas de música y aulas en establecimientos educativos	

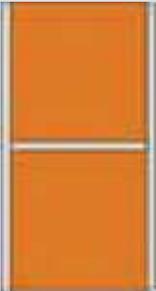
Con las tablas anteriores podemos verificar el posible desempeño de la UMC Acústica y de esta manera tener una visión clara de las situaciones en que se podría utilizar este elemento.

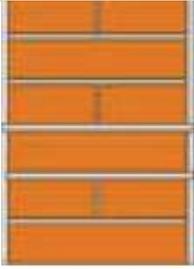
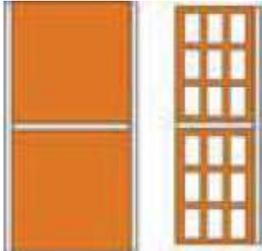
El alto grado de aislamiento que ofrece la UMC Acústica permite que la misma se ubique en las tablas entre condiciones que requieren de un aislamiento mayor, haciendo que este elemento constructivo sea ideal para separar/aislar ambientes con altos niveles de ruido.

2.2.7. Comparación de la UMC Acústica vs Tipos de Construcción de Mampostería Común

La siguiente tabla muestra tipos de construcción con ladrillo hueco y ladrillo macizo los mismos serán comparados con el aislamiento que generará la UMC Acústica.

Tabla 60. Comparación Muros Comunes vs Muros con la UMC Acústica

Tipo de Muro	Tipo y Tamaño [cm]	Espesor del Muro Terminado	Rw	UMC Acústica (Dimensiones, Espesor del Muro Terminado y Rw estimado)		
				19x23x39	24	48
	Ladrillos huecos de cerramiento 8x18x33	11	35	19x23x39	24	48
	Ladrillos huecos de cerramiento 12x18x33	15	37	19x23x39	24	48
	Bloque portante 12x19x33	15	44	19x23x39	24	48
	Bloque portante 18x19x33	21	46	19x23x39	24	48

	<p>Ladrillo macizo 11x24x5,5</p>	14	40	19x23x39	24	48
	<p>Ladrillo macizo 22x24x5,5</p>	25	48	19x23x39	24	48
	<p>Bloque portante 18x19x33 Ladrillos huecos de cerramiento 12x18x33</p>	41	50	19x23x39	24	48

2.2.8. Posibles Configuraciones de la UMC Acústica

A continuación se presentan algunas de las posibles configuraciones en la que se podría implementar a la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica.

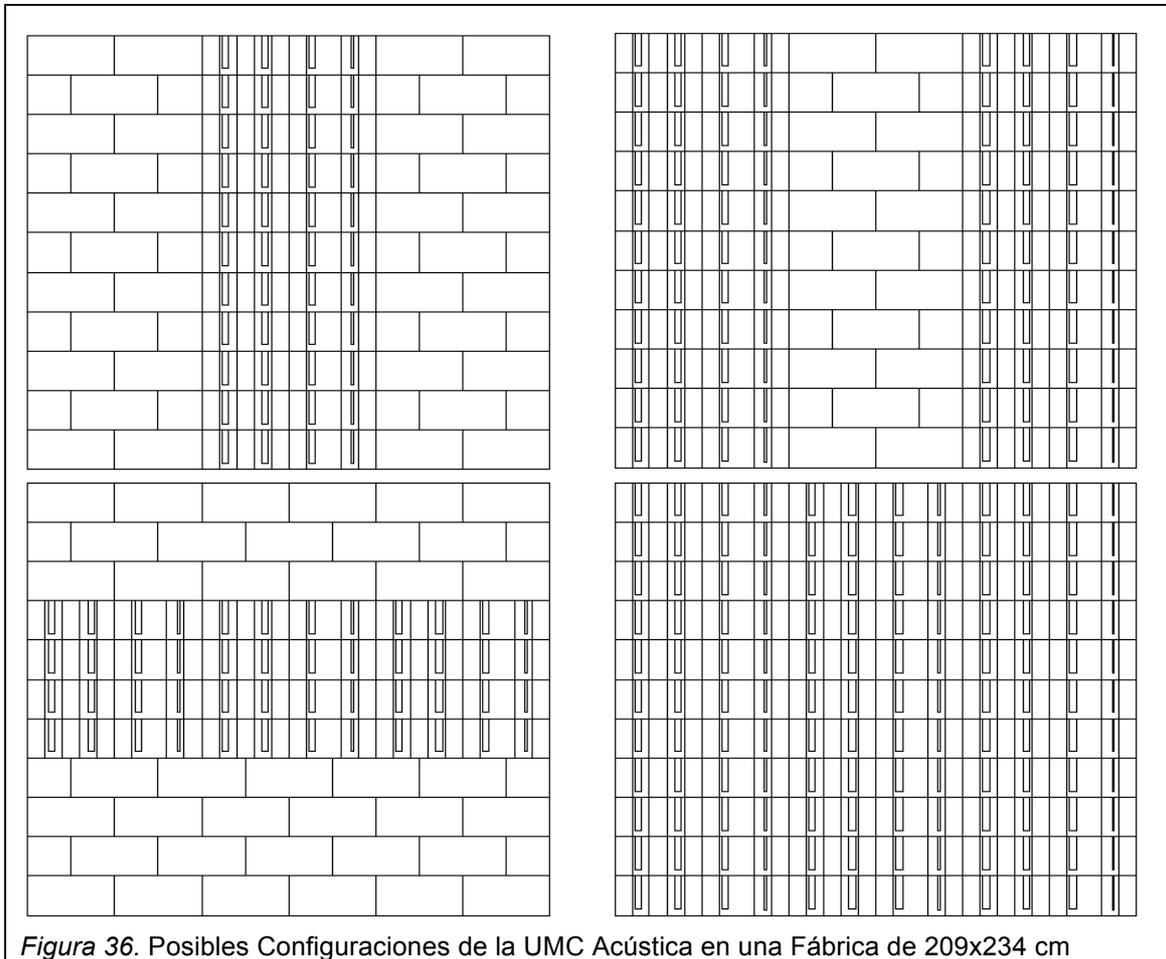


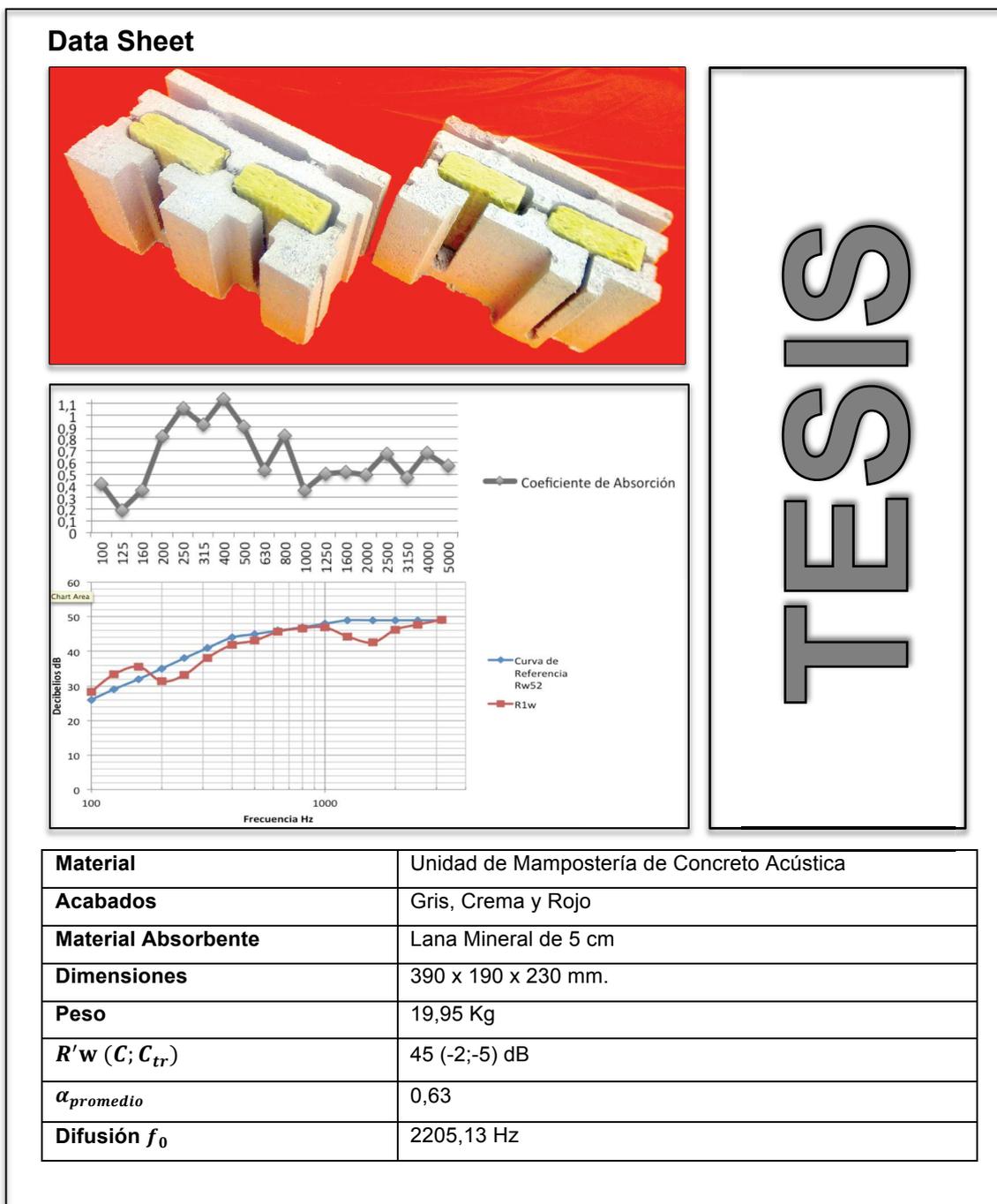
Figura 36. Posibles Configuraciones de la UMC Acústica en una Fábrica de 209x234 cm

La anterior imagen evidencia las diferentes maneras en que puede ser utilizada la unidad de mampostería, se puede observar que en algunos casos la UMC acústica no ocupa la totalidad de la fábrica, estas formas de implementación son útiles en situaciones donde el objetivo sea controlar el sonido en el recinto y no reducirlo por completo, como sería el caso en el que la fuente no sea la música, si no sea un ruido molesto como el de un compresor.

3. Sondeo del Mercado

Identificación y Caracterización del Producto

La Unidad de Mampostería de Concreto Acústica pertenece al sector de la construcción clasificándose como un elemento de elaboración de fábricas con las siguientes características:



Estructura Económica en el Mercado

En el caso de Unidad de Mampostería de Concreto Acústica la misma pertenece a un mercado de competencia monopolística debido a lo siguiente:

“Competencia monopolística.- el número de competidores es grande, cada competidor posee sus propias patentes o diferencia en tal forma sus productos que crea un segmento propio de mercado que dominará y tratará de mantener. Pero si hay otros competidores con bienes o servicios similares y sustitutos, habrá también competencia” (Rossete, 2004, pp. 369-373).

Segmento de Mercado

La Unidad de Mampostería de Concreto Acústica estará dirigida a el sector de la construcción que encaje en la siguiente descripción:

- Geográficamente: Quito.
- Pictográficamente: Clase social media-media alta-alta.
- De conducta: Menor costo, mayor beneficio.

Demanda Actual

En la zona metropolitana de Quito estan registradas 279 constructoras, no todas estas empresas se dedican a la construcción de recintos que requieran propiedades acústicas; actualmente no hay datos de quienes realizan esta actividad, pero tomando en cuenta el número de entidades dedicadas a la construcción sería inadecuado subestimar que un porcentaje de las mismas no este involucrado en la construcción o remodelación de recintos que necesitan acondicionamiento acústico, como teatros, factorias, salas de cine, o proyectos de beneficio social como son los recintos polifuncionales comunitarios.

Oferta Actual y Capacidad Instalada de la Competencia

Existe una cantidad limitada de elementos acústicos ofertados actualmete en el mercado ubicado en la zona de Quito, esto se puede notar facilmente en el stock de este tipo de materiales que poseen empresas que estan ligadas con el sonido como son MasMusika, ImportMusic o ProSonido; entre las anteriores

solo una de ellas oferta elementos acústicos tradicionales como son las espumas acústicas de poliuretano o difusores en espuma flex. Cabe mencionar que este sector esta creciendo pero todavía no se a recopilado datos de en que medida esta desarrollandose el mismo.

En el caso de los elementos de la construcción como son los bloques de hormigón no existe ningún tipo en Quito que posea propiedades acústicas, la producción de de las unidades tradicionales actualmente esta entre 400, 500 y 1200 bloques de hormigón al día por fábrica aproximadamente.

Demanda Insatisfecha

Entre los posibles mercados insatisfechos en este ambito se encuentra bares, discotecas, salas de grabación, teatros, cines, factorias. Estos tipos de comercio requieren en algún momento un índice de aislamiento, absorción o difusión acústica, las mismas tres propiedades que ofrece la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica.

Marketing MIX (Producto, Precio, Plaza y Promoción)

Producto.- La Unidad de Mampostería de Concreto Acústica no es solo un elemento más de la construcción, debido a que el mismo es capaz de reducir el tiempo de implemetación de acondicionamiento acústico de una manera inigualable en el Ecuador, gracias a su capacidad de control frecuencias bajas como medias lo que es uno de los inconvenientes más difíciles de solucionar en los recintos cerrados.

Precio.- El precio estará representado por el beneficio que se quiere entregar al cliente. Debido a que es un producto nuevo y novedoso se presentarán todas las ventajas que tiene la unidad, y el cliente verá lo conveniente de utilizar este elemento en algún porcentaje en su proyecto. Debido a la poca competencia directa el precio se fijará en función del costo y el volumen requerido por el cliente.

Plaza.- El medio por el que se llegue al cliente será directo, debido a que las ganancias estarán en función del volumen requerido para la venta. Por este motivo otro tipo de distribución en el mercado sería perjudicial para el producto.

Promoción.- El medio que se utilizaría para promocionar este producto directamente con los posibles consumidores sería la presentación del mismo en paginas web como la de la Cámara de la Construcción de Quito, o de forma mucho más directa, presentando la unidad de mampostería en ferias de la construcción, ferias universitarias de arquitectura u otros eventos de esta índole; sin descartar el factor de las redes sociales como es *Facebook*.

Fijación del Precio

El precio se fijará en función del costo y el volumen de producción, con estas condiciones se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 61. Precios de la UMC Acústica

Cantidad	Costo	P.V.P.
0-50	1,75	2,50
50-200	1,50	2,00
>200	1,25	1,75

Uno de los motivos para utilizar este sistema se debe a que este no es un producto de uso común, lo que crea la necesidad de que exista una diferenciación de precios de venta en función de volumen, para de esta manera respaldar algún período de disminución de actividad de producción en valores superiores a las 200 unidades.

4. Costo/Beneficio

El costo beneficio de la UMC acústica radica en el bajo costo que representa la implementación del mismo en lugares que necesiten acondicionamiento en cuestiones sonoras con resultados inmediatos y notorios. Una forma de constatar esto es simplemente realizando la siguiente tabla aproximada de comparación, en lo que se reflejará el acondicionamiento acústico tradicional y

actual en el Ecuador, y la relación del mismo con la utilización de la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica.

Tabla 62. Costo de Implementación Tradicional Vs Costo UMC Acústica

Rango de Frecuencias a Tratar [Hz]	Área de Tratamiento	Materiales Tradicionales	Costo Aproximado	Nuevo Material	Costo
100-500	5,33 m ²	Consultoría, Resonadores de Helmholtz, Difusores y Obra	\$385,80	Consultoría, UMC Acústica y Obra	\$264
500-3150	5,33 m ²	Consultoría, Unitarios de Helmholtz, Difusores y Obra	\$354,80	Consultoría, UMC Acústica y Obra	\$228
3150-20000	5,33 m ²	Consultoría, Lana Mineral y Obra	\$274,80	Consultoría, UMC Acústica y Obra	\$228

Es necesario señalar varios puntos que se tomaron en cuenta al realizar la anterior tabla.

- Todos los cálculos están basados en obras que necesiten levantar una fábrica o también conocido como muro.
- El tratamiento tradicional afecta solo a las frecuencias que se encuentran en el rango señalado.
- La Unidad de Mampostería de Concreto Acústica afecta a un rango más amplio al de los señalados, ya que la misma, posee absorción de bajas frecuencias en un intervalo de acción entre 200 Hz y 500 Hz, al igual que, difusión de altas frecuencias en con una $f_0 = 2205,13$ Hz.
- La utilización de la metodología tradicional en algunos casos requiere el doble de mano de obra.
- En la tabla no se consideran valores de aislamiento acústico para la metodología tradicional, mientras que en la Unidad de Mampostería de

Concreto Acústica ya esta implementada esta propiedad y el costo es el indicado en la tabla.

Tomando en cuenta los puntos señalados es notorio que la relación de costo versus el beneficio esta a favor del cliente al obtener tres propiedades acústicas en un solo material con un precio final mucho menor al tradicional.



Figura 37. Implementación de una Fábrica para Medir Aislamiento

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

La imposición de límites de diseño a la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica permitió abordar cada una de las propiedades; difusión, absorción y aislamiento acústico; de una manera eficiente, sin dejar a ninguno de los métodos expuestos en el marco teórico fuera del estudio, adquiriendo de esta manera un punto de referencia inicial significativo, dejando expuesto todas las alternativas acústicas en función de la unidad de mampostería. Algunos de los resultados entregados en las primeras instancias dieron fidelidad a parte de la hipótesis planteada que hacía mención a la forma geométrica y la dependencia de la misma con las propiedades acústicas.

Los resultados concluyentes que formaron parte de la distinción de los diferentes componentes de difusión acústica, presentaron a la difusión generada por el método MLS como la más idónea y menos invasiva a ser implementada sobre las dimensiones de la unidad de mampostería, pero, debido a la existencia de un problema con la frecuencia inicial de diseño para una sola unidad se optó por diseñar el elemento difusor sobre dos unidades de mampostería acústica. Tomado en cuenta lo anterior, el ancho completo de una Unidad de Mampostería de Concreto Acústica fue de 0,39 metros, de modo que; al unir dos unidades de mampostería para completar la secuencia, evidenciaba una considerable disminución en la frecuencia inicial de diseño siendo esta igual a $f_0 = 2205,13$ Hz, obteniendo difusión para un rango cercano al de la voz humana, permitiendo satisfacer uno de los objetivos planteados, el cual hacía referencia a diseñar una unidad de mampostería acústica con difusión en altas frecuencias. Considerando que este tipo de unidad en muchos casos será utilizada en recintos en donde la voz hablada o cantada será un factor decisivo que necesite un grado de inteligibilidad alto, la unidad será de gran utilidad para mejorar este punto tan importante.

La absorción generada por la Unidad de Mampostería de Concreto Acústica tuvo puntos máximos en las frecuencias cercanas para la que fue diseñada, constando que la introducción de material absorbente poroso; como en este

caso fue la lana mineral con un espesor de 5 centímetros, tuvo mucha influencia en disminuir los errores que se podrían haber generado por incumplir con las condiciones de diseño que se dispone comúnmente para un resonador de helmholtz. Los resultados que se obtuvieron muestran que la unidad absorbe una cantidad de energía considerable en frecuencias entre un rango bajo, bajo-medio, con un $\alpha_{promedio} = 0,63$, superando lo planteado en la hipótesis y comenzando; en este punto, a evidenciar un alto control de la energía sonora en un rango de frecuencias mucho más amplio, debido, no solo a la absorción de bajas frecuencias, sino, a la difusión de frecuencias altas, a la par.

Las cámaras de aire adicionales en la unidad de mampostería permitieron cumplir con el objetivo planteado en que cantidad de $R'w$ (reducción sonora aparente) se debía obtener en condiciones *in situ*, este valor alcanzó lo planteado, pero, considerando que las mediciones se realizaron en condiciones de terreno no ideales, se podría concluir que el valor obtenido para la reducción sonora aparente podría ser mayor de 3 a 6 decibeles si el mismo fuera medido en condiciones de laboratorio. Aumentando los tres decibeles se pudo comparar el valor obtenido con situaciones ya estudiadas, evidenciando el alto grado de aislamiento que genera la unidad en situaciones donde la voz a un nivel muy alto es escasamente audible. La mejoría que presenta la unidad con respecto a situaciones de levantamiento de muros con mampostería común; considerando que el aislamiento no es la única propiedad de la UMC, supera de manera sustancial a muros convencionales.

La implementación de terminos adicionales como son los de adaptación espectral permiten tener una idea mucho más clara de como se comporta el elemento de mampostería en situaciones como el de la voz humana o en situaciones extremas como el ruido de baja frecuencia que podría aportar una factoría.

Las diferentes formas en que se podría implementar la unidad de mampostería en una fábrica, hace que este nuevo elemento de la construcción en el Ecuador sea muy versátil, debido a que no es necesario; en todos los casos, cubrir una

pared completa con la UMC, si no que, la colocación de estas piezas se podría realizar en ciertos lugares para controlar el sonido y no mermarlo por completo.

La implementación de acabados de fábrica en la unidad es de mucho cuidado, la mala utilización de pigmentos no idóneos para este tipo de elementos conformados por concreto puede afectar la resistencia del mismo, en muchos casos el tiempo de fraguado y de secado puede aumentar; aunque, el buen manejo de estos adicionales en la mezcla genera una atractiva pieza de construcción que disminuye el costo de implementación y aumenta los beneficios debido a que la porosidad del material no se altera, y se extiende el rango de frecuencias en absorción.

Como conclusión final para este proyecto se debe tomar en cuenta que, el mismo es un producto totalmente original y patentable por su creador, lo cual se realizará en un futuro por medio de las entidades que rigen este derecho en el Ecuador como es el Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual IEPI.

5.2. Recomendaciones

La creación de condiciones similares a las ideales para el momento de las mediciones, puede ser en muchos casos muy complicado, pero no imposible de conseguir. Para el caso de la absorción generada por un material es necesario buscar un recinto que se acerque a las condiciones que plantean normas preestablecidas, en muchas situaciones el volumen de la cámara es uno de los puntos que llevará un poco más de tiempo en obtener. Una de las opciones para encontrar construcciones que se acerquen a lo requerido es buscar galpones en arriendo, muchas veces habrá que viajar, pero es una de las condiciones mas ideales disponibles en este momento, debido a que no existe este tipo de laboratorios en el Ecuador. Una vez conseguido el recinto que se acerque a los volúmenes requeridos es necesario verificar el paralelismo entre superficies; si se trata de un recinto rectangular; la mayoría lo son; es necesario de alguna manera intentar romper ese paralelismo. Para obtener esto se podría usar paneles de gypsum dispuestos en alguna forma que ayude a afrontar este problema. En el caso de este estudio se pudo conseguir un recinto sin superficies paralelas, pero todavía no se cumplía con

uno de los requerimientos que era tener paneles de difusión. Una manera de generar este fenómeno para este caso fue conseguir parabrisas en desuso por estar fisurados, y disponerlos en nuestro recintos de forma indistinta. Así de esta manera podremos obtener un recinto que sea; en la medida de lo posible, semejante a una cámara reverberante. Tomar en cuenta todos los puntos que señalan las normas internacionales es de suma importancia para respaldar los resultados obtenidos en el estudio.

Cada una de las condiciones generadas para los procesos de medición deben ser descritas de acuerdo a la norma, cualquier variación de las condiciones en donde se realizaron los estudios deben ser especificados, para de esta manera aportar con nuevos datos obtenidos en condiciones diferentes a las ideales.

Es de vital importancia considerar no afectar mayormente la geometría de un elemento cuando en el mismo se decide acoplar nuevos sistemas; como en este caso fué con la unidad de mampostería común y las tres propiedades acústicas. La razón de esto es evitar posibles consecuencias resultado de una alteración significativa, como por ejemplo, al realizar una unidad de mampostería con una frecuencia mucho menor de difusión, la misma tendría una geometría muy intrincada lo cual derivaría en problemas de resistencia, y mucho más grave que esto, problemas en el proceso de fabricación.

Tomar en cuenta puntos ya estudiados o valores determinados para productos ya fabricados es de vital importancia para obtener un punto de comparación para sustentar una creación.

Sería ideal que las empresas ecuatorianas dedicadas a la fabricación de elementos de la construcción empiecen a ver a estas alternativas como opciones de mejora en la construcción y generen mejores productos para incentivar la competencia en el aspecto acústico constructivo en el Ecuador; consecuencia de lo anterior, empezará a existir la necesidad de la construcción de laboratorios certificados donde se pueda evaluar a nuevos componentes que podrían aparecer en la acústica ecuatoriana en los próximos años.

REFERENCIAS

- Adell, J., (2008). *Manual Técnico NORMABLOC*. Madrid, España: Asociación Nacional de Fabricantes de Bloques y Mampostería de Hormigón NORMABLOC.
- AFCP, s.f. Asociación de Fabricantes de Cemento Portland. <http://www.afcp.org.ar/>.
- Carrión, A., (1998). *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*. Barcelona, España: Los Autores y Ediciones UPC.
- CMAA, (2010). *Concrete Masorny Handbook*. Artamon, Australia: Concrete Masorny Association of Australia.
- Díaz, R., *Aislación Acústica*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
- Durlock, *Soluciones Durlock Informes Técnicos*. Buenos Aires, Argentina: Durlock.
- Everest, F., (2001). *The Master Handbook of Acoustics*. Nueva York, Estados Unidos: MacGraw-Hill.
- Faconor S.A., s.f. *Catálogo Prefabricados Caravista*. Mendoza, España.
- ICCYC, s.f. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. <http://www.iccyc.com/>.
- ISOVER, s.f. *Manual de Aislamiento Acústico en la Industria*. Badalona, España: ISOVER.
- Kinsler, L., Frey, A., Coppens, A., Sanders, J., (1999). Nueva York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J., (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association PCA.

Miyara, F., (1999). *Control de Ruido*. Rosario, Argentina: El Autor.

NCMA, (2002). *TEK 2-1A*. Virginia, Estados Unidos: National Concrete Masonry Association NCMA.

Pereira, P., *Manual de Acústica, Ruido y Vibraciones*. Sevilla, España.

Prefabricadosalberdi, (s.f.). Airblock Multicámara. Recuperado el 20 de marzo del 2013 de <http://www.prefabricadosalberdi.com/alberdi/de/albiblock40x20x20multicamaras-rf-360.asp?nombre=2478&cod=2478&sesion=1>.

Socializarq, (s.f.). Sostenibilidad. Recuperado el 20 de marzo del 2013 de <http://socializarq.com/arq/sostenibilidad/page/13>

UNE EN ISO 140-14, (2005). *Medición del Aislamiento Acústico de los Edificios y de los Elementos de la Construcción*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR.

UNE EN ISO 140-4, (1999). *Medición del Aislamiento Acústico en los Edificios y de los Elementos de la Construcción*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR.

UNE EN ISO 354, (2003). *Medición de la Absorción Acústica en una Cámara Raverberante*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR.

UNE EN ISO 717-1, (1997). *Evaluación del Aislamiento Acústico en los Edificios y de los Elementos de la Construcción*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR.

ANEXOS

Onda Incidente	Difusor MLS		Cara Aplicable de la UMC		Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4}$ [m]	$w = \frac{\lambda}{2}$ [m]	w Total [m]	w=Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,1075	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,215	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
4K	0,0215	0,043	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	0,043	0,086	0,86	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
1K	0,086	0,172	1,72	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
500	0,172	0,344	3,44	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
250	0,344	0,688	6,88	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
125	0,688	1,376	13,76	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
63	1,365	2,73	27,3	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
31,5	2,73	5,46	54,6	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Anexo 1 Tabla Comparativa Difusor MLS vs UMC

Onda Incidente	Difusor MLS		Cara Aplicable de la UMC x 2		Condición
Hz	$d = \frac{\lambda}{4}$ [m]	$w = \frac{\lambda}{2}$ [m]	w Total [m]	w=Anchos [m] Disponibles x 2	w Total \leq w=Ancho
16K	0,005375	0,01075	0,11	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
8K	0,01075	0,0215	0,21	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
4K	0,0215	0,043	0,43	0,18-0,58-0,68-0,78	Aplicable
2K	0,043	0,086	0,86	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
1K	0,086	0,172	1,72	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
500	0,172	0,344	3,44	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
250	0,344	0,688	6,88	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
125	0,688	1,376	13,76	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
63	1,365	2,73	27,3	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable
31,5	2,73	5,46	54,6	0,18-0,58-0,68-0,78	No Aplicable

Anexo 2 Tabla Comparativa Difusor MLS vs UMC x 2

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 5$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,11	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,22	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	0,86	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	1,71	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	3,41	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 3 Difusor QRD p=5 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 7$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,04	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,08	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,15	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,30	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,60	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	1,20	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	2,39	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	4,78	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 4 Difusor QRD p=7 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 11$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,12	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,24	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,47	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	0,95	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	1,89	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	3,75	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	7,51	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 5 Difusor QRD p=11 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 13$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,07	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,14	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,28	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,56	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	1,12	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	2,24	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	4,44	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	8,87	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 6 Difusor QRD p=13 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 17$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,18	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,37	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,73	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	1,46	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	2,92	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	5,80	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	11,60	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 7 Difusor QRD p=17 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 19$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,20	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,41	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
500	4000	0,04	0,82	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	1,63	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	3,27	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	6,48	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	12,97	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 8 Difusor QRD p=19 vs UMC

Onda Incidente		Difusor QRD para $p = 23$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,12	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,25	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,49	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
500	4000	0,04	0,99	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	1,98	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	3,96	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	7,85	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	15,70	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 9 Difusor QRD p=23 vs UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p = 5$ y $g = 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,04	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,17	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,34	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
125	1000	0,17	0,69	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	1,37	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	2,73	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 10 Difusor PRD p=5 y g=2 vs UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p = 7$ y $g = 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,13	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,26	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
250	2000	0,09	0,52	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	1,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	2,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	4,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 11 Difusor PRD $p=7$ y $g=3$ vs UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p = 11$ y $g = 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,01	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,11	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,22	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,43	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	0,86	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	1,72	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	3,41	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	6,83	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 12 Difusor PRD $p=11$ y $g=2$ vs UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p = 13$ y $g = 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
16K	128000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
8K	64000	0,00	0,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
4K	32000	0,01	0,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,13	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,26	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,52	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
250	2000	0,09	1,03	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
125	1000	0,17	2,06	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
63	504	0,34	4,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
31,5	252	0,68	8,19	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Anexo 13 Difusor PRD $p=13$ y $g=2$ vs UMC

Onda Incidente	Difusor PRD para $p = 17$ y $g = 3$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho
16K	128000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
8K	64000	0,00	0,04	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
4K	32000	0,01	0,09	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
2K	16000	0,01	0,17	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
1K	8000	0,02	0,34	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable
500	4000	0,04	0,69	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
250	2000	0,09	1,38	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
125	1000	0,17	2,75	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
63	504	0,34	5,46	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable
31,5	252	0,68	10,92	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable

Anexo 14 Difusor PRD $p=17$ y $g=3$ vs UMC

Onda Incidente		Difusor PRD para $p = 19$ y $g = 2$			Cara Aplicable de la UMC	Condición
f_o [Hz]	f_{max} [Hz]	w Ranuras [m]	w Total [m]	w =Anchos [m] Disponibles	w Total \leq w =Ancho	
16K	128000	0,00	0,02	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
8K	64000	0,00	0,05	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
4K	32000	0,01	0,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
2K	16000	0,01	0,19	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
1K	8000	0,02	0,39	0,090-0,29-0,34-0,39	Aplicable	
500	4000	0,04	0,77	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
250	2000	0,09	1,55	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
125	1000	0,17	3,10	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
63	504	0,34	6,14	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	
31,5	252	0,68	12,29	0,090-0,29-0,34-0,39	No Aplicable	

Anexo 15 Difusor PRD $p=19$ y $g=2$ vs UMC

Anexo 16 Medición de Ángulos y Cortes de Material



Anexo 18 Guía de Ángulo



Anexo 17 Piezas para el Molde de la UMC Acústica



Anexo 19 Piezas para el Molde de la UMC Acústica



Anexo 20 Platinas para Formar la Prensa de la UMC Acústica



Anexo 21 Corte para Vaciados y Pared de la UMC Acústica



Anexo 22 Varillas Lisas de 5/8 para Prensa



Anexo 23 Molde de la Primera UMC Semiarmado



Anexo 24 Molde de la Segunda UMC Semiarmado



Anexo 25 Molde de la Primera UMC Acústica



Anexo 26 Bloquera Hidráulica Lista para la Producción



Anexo 27 Primera Prueba de la UMC Acústica



Anexo 28 Inicio de la Producción de la UMC Acústica



Anexo 29 Proceso de Fabricación de la UMC Acústica 1



Anexo 30 Proceso de Fabricación de la UMC Acústica 2



Anexo 31 Proceso de Fabricación de la UMC Acústica 2



Anexo 32 Unidades de Mampostería Acústica con Color



Anexo 33 Producción de Unidades de Mampostería Acústica



Anexo 34 Unidad de Mampostería Acústica Vista Superior



Anexo 35 Lugar para la Medición de Absorción Acústica 1



Anexo 36 Lugar para la Medición de Absorción Acústica 2



Anexo 37 Ubicación de los Equipos para la Medición de T60 1



Anexo 38 Ubicación de los Equipos para la Medición de T60 2



Anexo 39 Calibración de los Equipos



Anexo 40 Medición T60 Cámara Vacía 1



Anexo 41 Medición T60 Cámara Vacía 2



Anexo 42 Implementación de la Lana Mineral en la Cavidad de la UMC



Anexo 43 Ubicación de la Muestra de Ensayo



Anexo 44 Muestra de Ensayo 1



Anexo 45 Medición de T60 con la Muestra de Ensayo 1



Anexo 46 Bordes Recubiertos con Material Reflectante (Vidrio)



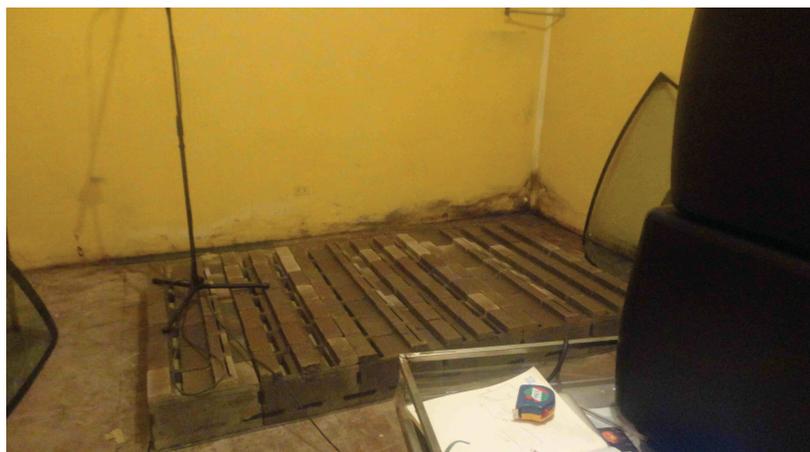
Anexo 47 Medición de T60 con la Muestra de Ensayo 2



Anexo 48 Medición de T60 (Sala Inestable Frecuentemente)



Anexo 49 Medición de T60 con Muestra de Ensayo (Sala Inestable Frecuentemente)



Anexo 50 Medición de T60 con la Muestra de Ensayo 3



Anexo 51 Medición de T60 con la Muestra de Ensayo 4



Anexo 52 Viaje para Medición de Aislamiento (Cahuasqui-Imbabura)



Anexo 53 Implementación de la Fábrica o Muro para la Medición



Anexo 54 Fábrica en un 90%
Implementada



Anexo 55 Fábrica en Vista en la Sala de Recepción



Anexo 56 Fábrica en la Sala de Emisión sin Enlucir



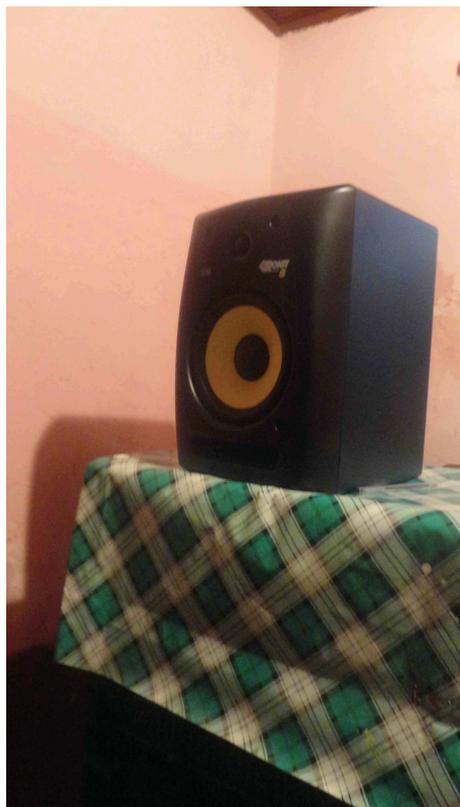
Anexo 57 Medición en la Sala Emisora



Anexo 58 Medición en la Sala Receptora



Anexo 59 Ubicación 1 de la Fuente



Anexo 60 Ubicación 2 de la Fuente



Anexo 61 Peso de las Unidades de Mampostería

GLOSARIO

A

Abrasión.- Proceso de profundo desgaste o de destrucción, producido en la superficie terrestre al arrancarle porciones de materia los agentes externos.

Absorbente.- Que absorbe. Sustancia que tiene un elevado poder de absorción.

Acabado.- Perfeccionamiento o retoque de una obra o labor.

Acero.- Aleación de hierro y carbono, en diferentes proporciones, que, según su tratamiento, adquiere especial elasticidad, dureza o resistencia.

Acústica.- Parte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos, y también, por ext., de los ultrasonidos. Característica de un recinto referida a la calidad de la recepción de los sonidos.

Agregados.- Conjunto de cosas homogéneas que se consideran formando un cuerpo.

Aislamiento.- Sistema o dispositivo que impide la transmisión de la electricidad, el calor, el sonido, etc.

Apilamiento.- Acción y efecto de apilar.

Arcilla.- Tierra finamente dividida, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene.

Árido.- Materiales rocosos naturales, como las arenas o las gravas, empleados en las argamasas.

Armado.- Dicho del cemento o del hormigón: Reforzado con barras metálicas.

Audible.- Que se puede oír.

C

Cascajo.- Guijo, fragmentos de piedra y de otras cosas que se quiebran.

Cavidad.- Espacio hueco dentro de un cuerpo cualquiera.

Certificación.- Acción y efecto de certificar. Documento en que se asegura la verdad de un hecho.

Ciclo.- Serie de fases por las que pasa un fenómeno periódico.

Cimentar.- Echar o poner los cimientos de un edificio u obra.

Clínker.- Producto granulado obtenido por calcinación de caliza y arcilla, y utilizado en la fabricación de cementos.

Compresión.- Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

Concreto.- Sólido, compacto, material.

Conductividad.- Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad.

Consistencia.- Duración, estabilidad, solidez. Trabazón, coherencia entre las partículas de una masa o los elementos de un conjunto.

Cuantificador.- Símbolo antepuesto que relaciona una o más variables con una cantidad.

D

Degradación.- Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

Densidad.- Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³).

Denso.- Que contiene mucha masa con respecto a su volumen.

Dentado.- Que tiene dientes, o puntas parecidas a ellos.

Difusión.- Acción y efecto de difundir.

Disolver.- Mezclar de forma homogénea las moléculas o iones

de un sólido, un líquido o un gas en el seno de otro líquido, llamado disolvente.

E

Elasticidad.- Propiedad general de los cuerpos sólidos, en virtud de la cual recobran más o menos completamente su extensión y forma, tan pronto como cesa la acción de la fuerza que las deformaban.

F

Flexión.- Acción y efecto de doblar el cuerpo o algún miembro.

Frecuencia.- Número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo.

G

Geometría.- Estudio de las propiedades y de las medidas de las figuras en el plano o en el espacio.

Granulometría.- Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo.

Grieta.- Hendidura alargada que se hace en la tierra o en cualquier cuerpo sólido.

H

Homogéneo.- Dicho de una sustancia o de una mezcla de varias: De composición y estructura uniformes.

Hormigón.- Mezcla compuesta de piedras menudas y mortero de cemento y arena.

Hormigonera.- Aparato para la confección del hormigón (mezcla de piedras y mortero).

I

Impedancia.- Relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida. Se mide en ohmios. Relación entre la magnitud de una acción periódica y la de la respuesta producida en un sistema físico.

Impermeable.- Impenetrable al agua o a otro fluido.

L

Ligero.- Que pesa poco.

Logarítmico.- Perteneciente o relativo a los logaritmos.

M

Macizo.- Lleno, sin huecos ni vanos, sólido.

Mampostería.- Obra hecha con mampuestos colocados y ajustados unos con otros sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños.

Masa.- Magnitud física que expresa la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo (kg).

Membrana.- Placa o lámina de pequeño espesor, generalmente flexible.

Mermar.- Hacer que algo disminuya o quitar a alguien parte de cierta cantidad que le corresponde.

Mortero.- Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo.

Muro.- Pared o tapia.

O

Oscilación.- Cada uno de los vaivenes de un movimiento oscilatorio.

P

Pascal.- Unidad de presión del Sistema Internacional, equivalente a la presión uniforme que ejerce la fuerza de un newton sobre la superficie plana de un metro cuadrado. (Símb. Pa).

Pasta.- Masa hecha de una o diversas sustancias machacadas.

Periódico.- Dicho de un fenómeno: Cuyas fases se repiten con regularidad.

Plástico.- Dicho de un material: Que, mediante una compresión más o menos prolongada, puede cambiar de forma y conservar esta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos.

Potable.- Que se puede beber. Pasable, aceptable.

Prefabricado.- Dicho de una casa o de otra construcción: Cuyas partes esenciales se envían ya fabricadas al lugar de su emplazamiento, donde solo hay que acoplarlas y fijarlas.

Presión.- Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de

superficie. Su unidad en el Sistema Internacional es el pascal.

Pretensar.- Someter una pieza o un material a presiones previas a su utilización, para mejorar su resistencia.

Prismático.- Perteneiente o relativo al prisma. De forma de prisma.

R

Reciclable.- Que se puede reciclar.

Resonador.- Dispositivo que entra en resonancia al recibir excitaciones de ondas acústicas o electromagnéticas de determinadas frecuencias.

Resonancia.- Fenómeno que se produce al coincidir la frecuencia propia de un sistema mecánico, eléctrico, etc., con la frecuencia de una excitación externa.

Resorte.- Fuerza elástica de algo.

Rozamiento.- Resistencia que se opone a la rotación o al deslizamiento de un cuerpo sobre otro.

S

Sonido.- Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento

vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire. Vibración mecánica transmitida por un medio elástico.

Sulfato.- Sal mineral u orgánica del ácido sulfúrico.

Textura.- Estructura, disposición de las partes de un cuerpo, de una obra, etc.

Triturar.- Moler o desmenuzar una materia sólida, sin reducirla enteramente a polvo.

U

Umbral.- Valor mínimo de una magnitud a partir del cual se produce un efecto determinado.

Unidimensional.- De una sola dimensión.

Uniforme.- Dicho de dos o más cosas que tienen la misma forma.

Todas las definiciones en el glosario son obtenidas de el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española RAE