

**MODELO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
PARA TRES DE LOS SECTORES QUE PRESENTAN DIFERENTES
NIVELES DE RUIDO EN LAS AULAS DE CLASE DEL CED JOSÉ
ASUNCIÓN SILVA.**

ANGÉLICA VIVIANA SÁNCHEZ MERCADO

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGIENERIA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2010**

**MODELO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
PARA TRES DE LOS SECTORES QUE PRESENTAN DIFERENTES
NIVELES DE RUIDO EN LAS AULAS DE CLASE DEL CED JOSÉ
ASUNCIÓN SILVA.**

ANGÉLICA VIVIANA SÁNCHEZ MERCADO

Proyecto de grado

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGIENERIA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2010**

Nota de aceptación.

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bogotá D.C. 2 de noviembre de 2010.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por permitirme seguir adelante y estar conmigo en todo momento.
- A el CED José Asunción Silva por abrirme sus puertas para desarrollar este proyecto de grado.
- A el Ing. Andrés Millán por no dejar que me rindiera y por sus asesorías en lo largo del proyecto.
- A el Ingeniero y profesor Luis Fernando Hermida por sus consejos y su ayuda para finalizar este proyecto.
- A mi mamá, mis hermanos y mi suegros por su insistencia.
- Por último pero no menos importante a mi papá que siempre creyó en mi a pesar de mis equivocaciones y mis fallas.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. ANTECEDENTES	16
1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	19
1.5.1. Alcances	19
1.5.2. Limitaciones	19
2. METODOLOGÍA	21
2.1. HIPÓTESIS	21
2.2. VARIABLES	22
2.2.1. Variables independientes	22
2.2.2. Variables dependientes	22
3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD / NUCLEOS PROBLÉMICOS	23
4. MARCO DE REFERENCIA	24
4.1. MARCO CONCEPTUAL	24
4.1.1. Ruido	24
Tipos de Ruido	30
Criterios de Evaluación de Ruido de Fondo.	31
Criterio NC	31
Criterio PNC	34
Criterio NR	34
4.1.2. Aislamiento	35
Aislamiento y Absorción de la Energía	38
Calculo de Aislamiento	39
Paredes Simples	39
Dos muros con espacio de Aire	43
Dos Láminas Unidas	44
4.1.3. Tiempo de reverberación y coeficientes de absorción.	46
4.1.4. Modos propios de un recinto	48
4.1.5. Campo Sonoro.	49
4.1.6. Inteligibilidad.	53
Características de la emisión vocal.	53

Método de Knudsen.	55
4.2. MARCO LEGAL	57
4.2.1. Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006.	57
4.2.2. ISO 3382	59
Método del ruido interrumpido.	60
Método de la respuesta impulsiva integrada	60
4.2.3. ISO 140-4	61
4.2.4. IRAM 4070	62
4.2.5. ANSI-ASA S12.60 Parte 2	62
5. DESARROLLO INGENIERIL	64
5.1. LEVANTAMIENTO DE PLANOS	64
5.2. CÁLCULOS TEÓRICOS	66
5.2.1. Aislamiento	66
Salón 1	66
Salón 2	71
Salón 3	77
5.2.2. Tiempo de reverberación	81
5.2.3. Modos normales	83
5.2.4. Campo Sonoro	85
5.2.5. Inteligibilidad de la palabra	87
5.3. MEDICIONES	90
5.3.1. Ruido Exterior.	91
5.3.2. Ruido Interior.	94
5.3.3. Ruido de Fondo.	102
5.3.4. Aislamiento	104
Salón 1	105
Salón 2	105
Salón 3	106
5.3.5. Tiempo de reverberación	107
Salón 1	107
Salón 2	109
Salón 3	111
5.3.6. Campo Sonoro	112
5.3.7. Inteligibilidad de la palabra	116
5.4. ANÁLISIS DE DATOS.	117
5.4.1. Salón 1	117
Aislamiento	117
Tiempo de Reverberación	118
Campo Sonoro	119
Inteligibilidad de la palabra	120
5.4.2. Salón 2	120
Aislamiento	120
Tiempo de reverberación	121
Campo Sonoro	122
Inteligibilidad de la palabra	123
5.4.3. Salón 3	123
Aislamiento	123

Tiempo de reverberación	124
Campo Sonoro	125
Inteligibilidad de la palabra	126
5.5. DISEÑO DE MODELOS	126
5.5.1. AISLAMIENTO	127
Salón 1	128
Salón 2	129
Salón 3	131
5.5.2. ACONDICIONAMIENTO	132
Salón 1	134
Salón 2	136
Salón 3	138
5.5.3 MODOS NORMALES	140
6.PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	144
7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
8.PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACIÓN	150
9.BIBLIOGRAFÍA	151
GLOSARIO	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

		Pág
Figura 1	Ruidos más comunes a nivel urbano	24
Figura 2	Ruido Blanco	25
Figura 3	Ruido Rosa	26
Figura 4	Ruido eléctrico pseudoaleatorio	27
Figura 5	Control de Ruido	30
Figura 6	Curvas Criterio de Ruido NC	32
Figura 7	Ejemplo de Curva NC	33
Figura 8	Curvas Criterio PNC	34
Figura 9	Curvas Criterio NR	35
Figura 10	Ejemplos de Aislamientos.	36
Figura 11	Ejemplos de Aislamientos para ventanas con vidrio doble.	37
Figura 12	Absorción de la energía	38
Figura 13	Perdida de Transmisión de materiales sólidos.	40
Figura 14	Tiempo de Reverberación	46
Figura 15	Campo Sonoro	49
Figura 16	Niveles del Campo Sonoro	50
Figura 17	Factor de reducción kl	55
Figura 18	Factor de reducción kr	55
Figura 19	Factor de reducción kr vs. <i>Tiempo de reverberación</i>	56
Figura 20	Factor de reducción kn	56
Figura 21	Índice de articulación	57
Figura 22	Materiales constructivos y dimensiones del Salón 1.	64
Figura 23	Materiales constructivos y dimensiones del Salón 2.	64
Figura 24	Materiales constructivos y dimensiones del Salón 3.	65
Figura 25	Croquis del Plantel	65
Figura 26	Ubicación Salón 1	66
Figura 27	Materiales Constructivos del Muro 1 Salón 1	67
Figura 28	Materiales Constructivos del Muro 2 Salón 1	68
Figura 29	Materiales Constructivos del Muro 3 Salón 1	69
Figura 30	Perdida de Transmisión Salón 1	70
Figura 31	Ubicación Salón 2	72
Figura 32	Materiales Constructivos del Muro 1 Salón 2	72
Figura 33	Materiales Constructivos del Muro 2 Salón 2	74
Figura 34	Materiales Constructivos del Muro 3 Salón 2	75
Figura 35	Perdida de Transmisión Salón 2	76
Figura 36	Ubicación Salón 3	77
Figura 37	Materiales Constructivos del Muro 1 Salón 3	77
Figura 38	Materiales Constructivos del Muro 2 Salón 3	78
Figura 39	Materiales Constructivos del Muro 3 Salón 3	79
Figura 40	Perdida de Transmisión Salón 3	81
Figura 41	Tiempo de Reverberación de los salones	83

Figura 42	Modos normales salón 1	84
Figura 43	Modos normales salón 2	84
Figura 44	Modos normales salón 3	85
Figura 45	Distancia crítica de los salones	86
Figura 46	Calculo de %Alcons	89
Figura 47	Ubicación CED José Asunción Silva y croquis del primer nivel.	91
Figura 48	Comparación de niveles de ruido en ponderación lineal y A.	92
Figura 49	Puntos de medición ruido interior	95
Figura 50	SPL Interior en el descanso.	96
Figura 51	Nivel de la alarma para cambio de clase	97
Figura 52	Punto de medición del ruido interior en el tiempo de clase.	98
Figura 53	SPL Interior en clase	99
Figura 54	Ubicación de los tres salones y puntos de medición	102
Figura 55	Criterio NC de cada salón	103
Figura 56	Puntos de medición de aislamiento según ISO 140-4	104
Figura 57	Puntos de medición salón 2	105
Figura 58	Aislamiento salón 2	106
Figura 59	Aislamiento salón 3	106
Figura 60	Puntos de medición del salón 1 para tiempo de reverberación.	107
Figura 61	Tiempo de reverberación del salón 1	108
Figura 62	Puntos de medición del salón 2 para tiempo de reverberación.	109
Figura 63	Tiempo de reverberación del salón 2	110
Figura 64	Puntos de medición del salón 3 para tiempo de reverberación.	111
Figura 65	Tiempo de reverberación del salón 3	112
Figura 66	Puntos de medición del salón 1 para campo sonoro	113
Figura 67	Campo sonoro del salón 1	113
Figura 68	Puntos de medición del salón 2 para campo sonoro	114
Figura 69	Campo sonoro del salón 2	114
Figura 70	Puntos de medición del salón 3 para campo sonoro	115
Figura 71	Campo sonoro del salón 3	115
Figura 72	Perdida de transmisión y ruido de fondo salón 1.	117
Figura 73	Comparación de tiempos de reverberación salón 1.	118
Figura 74	Campo sonoro del salón 1	119
Figura 75	Aislamiento calculado y aislamiento medido salón 2	120
Figura 76	NC requerido para salón 2	121
Figura 77	Comparación de RT60 del salón 2	122
Figura 78	Campo sonoro del salón 2	122
Figura 79	Aislamiento calculado y aislamiento medido salón 3	123
Figura 80	NC requerido para salón 3	124
Figura 81	Comparación de RT60 del salón 3	125
Figura 82	Campo sonoro del salón 3	125
Figura 83	Diseño acústico 3D CED José Asunción Silva.	126
Figura 84	Curvas NC de diseño para salón 1	129
Figura 85	Curvas NC de diseño para salón 2	130
Figura 86	Curvas NC de diseño para salón 3	131
Figura 87	Dimensiones del prototipo del difusor QRD	132

Figura 88	Prototipo del difusor QRD	133
Figura 89	Diseño Catt Acoustics DEMO del salón 1	134
Figura 90	Tiempo de reverberación del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 1	135
Figura 91	RaSTI del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 1	135
Figura 92	Diseño Catt Acoustics DEMO del salón 2	136
Figura 93	Tiempo de reverberación del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 2	137
Figura 94	RaSTI del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 2	137
Figura 95	Diseño Catt Acoustics DEMO del salón 3	138
Figura 96	Tiempo de reverberación del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 3	138
Figura 97	RaSTI del diseño en Catt Acoustics DEMO del salón 3	139
Figura 98	Modos normales salón 1	140
Figura 99	Modos normales salón 2	141
Figura 100	Modos normales salón 3	141
Figura 101	Resonador salón 1	143
Figura 102	Resonador salón 2	143
Figura 103	Resonador salón 3	143
Figura 104	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 1	144
Figura 105	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 2	145
Figura 106	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 3	145
Figura 107	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 1	146
Figura 108	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 2	147
Figura 109	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 3	147

LISTA DE TABLAS

	Pág	
Tabla 1	Maximos valores de ruido aceptables.	33
Tabla 2	Niveles de presión sonora NC	62
Tabla 3	Perdida por transmisión del muro 1 salón 1	67
Tabla 4	Perdida por transmisión del muro 2 salón 1	68
Tabla 5	Perdida por transmisión del muro 3 salón 1	69
Tabla 6	Perdida por transmisión de techo y piso salón 1	70
Tabla 7	Perdida por transmisión del muro 1 salón 2	73
Tabla 8	Perdida por transmisión del muro 2 salón 2	74
Tabla 9	Perdida por transmisión del muro 3 salón 2	75
Tabla 10	Perdida por transmisión de techo y piso salón 1	76
Tabla 11	Perdida por transmisión del muro 1 salón 3	78
Tabla 12	Perdida por transmisión del muro 2 salón 3	79
Tabla 13	Perdida por transmisión del muro 3 salón 3	80
Tabla 14	Perdida por transmisión de techo y piso salón 3	80
Tabla 15	Tiempo de Reverberación Salón 1	82
Tabla 16	Tiempo de Reverberación Salón 2	82
Tabla 17	Tiempo de Reverberación Salón 3	82
Tabla 18	Niveles de campo sonoro Salón 1	86
Tabla 19	Niveles de campo sonoro Salón 2	87
Tabla 20	Niveles de campo sonoro Salón 3	87
Tabla 21	Inteligibilidad de la palabra Salón 1	87
Tabla 22	Inteligibilidad de la palabra Salón 2	88
Tabla 23	Inteligibilidad de la palabra Salón 3	88
Tabla 24	Valoración subjetiva de la Inteligibilidad	90
Tabla 25	Niveles de ruido exterior en ponderación lineal y A	92
Tabla 26	Exposición sonora del ruido exterior.	93
Tabla 27	Resultados generales de mediciones del ruido exterior.	94
Tabla 28	Niveles de ruido en el tiempo de descanso	95
Tabla 29	Niveles de ruido interior en tiempo de clase	98
Tabla 30	Exposición sonora del ruido interior.	100
Tabla 31	Resultados generales de mediciones del ruido interior.	101
Tabla 32	Ruido de fondo	103
Tabla 33	Tiempo de Reverberación Salón 1	108
Tabla 34	Tiempo de Reverberación Salón 2	109
Tabla 35	Tiempo de Reverberación Salón 3	111
Tabla 36	Coeficientes de absorción del Drywall	119
Tabla 37	Aislamiento del diseño salón 1	128
Tabla 38	Aislamiento del diseño salón 2	130
Tabla 39	Aislamiento del diseño salón 3	131
Tabla 40	Coeficientes de absorción y difusión del difusor QRD	133
Tabla 41	Coeficientes de absorción.	134
Tabla 42	STI y Alcons	136
Tabla 43	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 1	144
Tabla 44	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 2	145
Tabla 45	Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 3	145
Tabla 46	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 1	146

Tabla 47	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 2	146
Tabla 48	RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 3	147

ANEXOS

ANEXO A	Carateristicas de Materiales Solidos
ANEXO B	Estandares maximos permisibles de emisión de ruido
ANEXO C	Estandares maximos permisibles de niveles de ruido ambiental
ANEXO D	Palabras fonéticamente balanceadas del Dr. Tato
ANEXO E	Coefficientes de Absorción
ANEXO F	PLANOS ACTUALES DE LOS SALONES PLANOS DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS SALONES

INTRODUCCIÓN

El aislamiento y acondicionamiento acústico son parámetros que ayudan a que variables como el tiempo de reverberación y la inteligibilidad de la palabra cumplan con criterios para obtener una buena calidad sonora y disminuir la contribución de la contaminación auditiva en los salones de clase. Si en una aula el acondicionamiento acústico no es óptimo, el tiempo de reverberación es excesivo y el aislamiento es pobre, los estudiantes y el profesor no tendrían un confort acústico, por lo tanto el mensaje no sería claro para los oyentes generando distracción por ruido que proviene del exterior del salón obligando al profesor aumentar el tono de su voz para atraer de nuevo su atención.

Según la Organización Mundial de la Salud¹, el ruido constante ocasiona en las personas patrones de inadaptación psico-fisiológica con repercusiones neuro-sensoriales, endocrinos, vasculares y digestivos, además de esto dan origen a trastornos del equilibrio, sensación de malestar y fatiga psico-fisiológica, lo que altera los niveles de rendimiento en las personas. Esta es una de las razones por la cual el aprendizaje presenta deficiencias. Los niños, adolescentes y profesores están constantemente expuestos al ruido, tanto interno como externo de la institución educativa; como consecuencia se puede ver primordialmente daños en el sistema fonador, seguido por la falta de concentración en los estudiantes, y finalmente problemas fisiológicos y psicológicos.

La comunidad educativa afectada y la importancia de los efectos que esta contaminación produce en el proceso de aprendizaje, hace necesario que se enfrente como un problema de salud pública, sosegándose una normativa para prevenir y controlar este problema. La prevención en el caso de la contaminación acústica asociada a los salones de clase, tiene un costo relativamente bajo, sin embargo se necesita una coordinación y planificación significativa; entre otros aspectos la prevención debe enfrentarse en forma multifactorial, decidida y debe involucrar a todos los actores del proceso educativo de la juventud.

Es ineludible determinar las variables factibles que se puedan corregir en el entorno acústico de los ambientes escolares y disminuir de esta manera, el riesgo de presentar patologías auditivas y evitar el grave deterioro que sufre el proceso educativo por tales causas.

¹ <http://www.scribd.com/doc/9285970/Todos-Contra-El-Ruido>

Actualmente en las instituciones educativas al realizar el diseño se piensa en área, iluminación e implementos adecuados para un número determinado de niños, pero no se tiene en cuenta las características acústicas de estos recintos lo cual es muy importante ya que de ello depende que la comunidad educativa en general acceda a espacios íntegros para encaminar la calidad pedagógica.

De acuerdo a los parámetros establecidos como fundamentos en el tema de calidad sonora y por sugerencia y apertura institucional se propone trabajar con el CED José Asunción Silva ubicado en la dirección Cr. 92 No.89-79; este predio se encuentra al lado de la plaza de mercado de Quirigua y adyacente al cruce de dos avenidas muy transitadas debido al movimiento comercial de la plaza; una de las avenidas es una entrada principal a la localidad de Suba por donde transitan camiones de carga pesada, transporte público y vehículos particulares en proporciones importantes.

En primera instancia se aborda el estudio desde la perspectiva de medición con el fin de conocer el comportamiento acústico de los salones e identificar el nivel de aislamiento que se requiere en cada uno y el acondicionamiento adecuado . Para iniciar con las mediciones se realiza el levantamiento de planos de cada uno de los salones especificando los materiales actuales; seguido de esto se planifican las mediciones acústicas de los salones según las normas ISO 3382 e ISO 140, a su vez las mediciones de ruido según la resolución 0627 del 7 de Abril de 2006.

Ya realizadas las respectivas mediciones se analizan los resultados para examinar el comportamiento del sonido en estos salones, es decir, conocer la inteligibilidad de la palabra, el tiempo de reverberación, la pérdida por transmisión, el campo sonoro y analizar a partir de estos parámetros en que proporción afecta el ruido exterior la comprensión de los mensajes en el canal entre el docente y los estudiantes. Al identificar las distintas falencias que existen en los salones de clase se procede a realizar los cálculos pertinentes para el diseño de cada recinto según su ubicación basándose en los lineamientos proporcionados por la norma ANSI-ASA S12.60 Parte 2. Seguidamente se dibujan los planos de la propuesta de diseño y finalmente se ejecuta una simulación del acondicionamiento acústico con el software Catt Acoustics Versión Demo para exponer el comportamiento del diseño.

Éstos diseños no solo contribuirá para un confort acústico y una excelente inteligibilidad de la palabra en estos salones sino también es posible tomarlo como ejemplo para diseños posteriores y construcciones de futuros salones de clase considerando las características acústicas que estos deben tener, adaptándose a un modelo base.

Para finalizar al realizar los diseños de aislamiento y acondicionamiento en cada salón se desarrollaron mediciones y cálculos acústicos con el fin de conocer las características de cada uno y así hallar una solución teniendo en cuenta la normativa para cada espacio en particular. Gracias a la integración de varios materiales y jugando con el espacio de cada salón se logró disminuir los niveles de ruido, obtener un tiempo de reverberación adecuado y una inteligibilidad excelente en los tres salones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

En Estados Unidos los estudios de los efectos del ruido sobre la infancia se remontan a años anteriores. En 1996 el Comité Técnico de la Asociación Acústica de América (ASA) había pedido a la Junta incluir normas acústicas sobre las instalaciones de salones de clase. La Junta finalmente tomó nota cuando una madre del estado de Georgia presentó una petición relacionada con el tema. La junta envió un representante de la ASA a la Universidad Estatal de Pensilvania en junio de 1997 para la presentación de algunos trabajos, una nutrida asistencia en el seminario resaltó la cuestión del problema, no sólo para los estudiantes con pérdida auditiva, sino para todos los niños como una clase especial. El mismo año Towne y Anderson publicaron un artículo titulado "El cambio de sonido de la Educación". Estos acontecimientos dieron pie para realizar la norma ANSI-ASA S12.60 la cual proporciona los requerimientos y pautas para el diseño del criterio de ejecución acústica en salones de clase, por tanto es muy importante porque a partir de esta norma la construcción de los establecimientos educativos se rigen reduciendo los costos y aumentando los beneficios de las aulas en pro de la educación.

Para el Programa de Becas de Investigación 1999-2000, J. A. Mastroizzi, C. Montes, S. Amura, M. A. Mastroizzi presentan en la Universidad Argentina John F. Kennedy un paper titulado "Estudio y pautas para el acondicionamiento acústico de aulas de edificios para la educación" donde estudian 3 escuelas de nivel primario, construidas una a principios de siglo, otra en la década del 40, y otra en la década del 70, cada una con tipologías diferentes para comparar las condiciones acústicas.

En febrero del año 2006 la empresa Fiberglass junto con la constructora Intrasesores Ltda. trabajaron en los Colegios Nueva York y Colombo Gales ubicados en Bogotá. Controlaron y mejoraron el confort acústico y térmico de las aulas de clase de cada institución educativa que presentaban problemas de tiempo de reverberación. La solución planteada fue instalar en los salones un cielo raso en fibra de vidrio y sobre esta una capa de frescaza, adecuaron las ventanas con vidrio laminado e instalaron piso en caucho obteniendo como resultado disminución de 13 dB de ruido de fondo en el espacio del descanso donde registraba el nivel mas elevado de ruido; en cuanto al tiempo de reverberación ellos garantizan un confort acústico mejorando la inteligibilidad y a su vez el nivel

de concentración y comodidad. Esto demuestra que ya la comunidad educativa de Bogotá se está preocupando por el bienestar de los estudiantes y maestros modificando los espacios para tener un ambiente agradable sin ruido que bloquee la concentración por medio de una inteligibilidad de la palabra óptima.

En la Universidad de San Buenaventura se han llevado a cabo proyectos de investigación de diseño de aislamiento y acondicionamiento acústico de varios espacios arquitectónicos como estudios de grabación, teatros, iglesias, salas de cine, entre otros, algunos se han logrado desarrollar al presentar la propuesta frente a la entidad o institución correspondiente. No obstante no se ha efectuado una investigación en instituciones educativas lo que diferencia a este proyecto de las temáticas presentadas con anterioridad; además de ser una propuesta pionera en la universidad en el campo del confort acústico en aulas de clase, también se puede tener como base para el desarrollo de proyectos de espacios pedagógicos para la educación superior. Cabe agregar que en la universidad para el desarrollo de varias actividades se han realizado mediciones acústicas en diferentes áreas de la universidad tales como el polideportivo, salones de clase, auditorios y otros, sin embargo se han incurrido únicamente como actividades extra clase para cumplir un objetivo de alguna materia de la rama acústica del pensum académico.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los salones de clase del CED José Asunción Silva no poseen un aislamiento acústico adecuado, permitiendo que el ruido exterior (causado por diferentes fuentes) perturbe las actividades de las clases y a su vez que el ruido generado en el interior de las aulas, interfiera con las labores de los espacios adjuntos. El tiempo de reverberación de estos salones puede estar fuera de los criterios establecidos por diferentes autores e investigadores, obteniendo como resultado una mala inteligibilidad de la palabra.

Uno de los factores principales es que esta comunidad educativa está ubicada en medio de una zona residencial y otra comercial. De acuerdo a diferentes juicios los niveles de ruido en las dos áreas son completamente diferentes, por ejemplo el sector cerca a la plaza de mercado y adyacente a dos avenidas hace que esta zona sea bastante ruidosa debido al tránsito de vehículos motorizados, especialmente los de carga pesada y transporte público; mientras que el sector ubicado cerca de las viviendas y adjunto al parque público presentan un nivel de ruido bajo comparado con el otro sector, debido a que se presenta únicamente tránsito de peatones y vehículos no motorizados, requiere de un modelo de aislamiento acústico diferente al primer caso.

Así mismo los docentes y estudiantes que están la mayoría de la jornada en la zona afectada se quejan del excesivo ruido de la zona y presentan síntomas de fatiga, dolores de cabeza y estrés según lo expresó la orientadora Luz Marina Sierra encargada del desarrollo socio-afectivo de los estudiantes. Esto genera la necesidad de buscar los medios apropiados para reducir el impacto de la contaminación sonora en este sector, alcanzando como objetivo principal que el grupo de estudiantes y docentes expuestos puedan tener un lugar tranquilo para estudiar y trabajar, con base a lo mencionado con anterioridad me formulo la siguiente pregunta:

¿Como se diseña un modelo acústico el cual controle los niveles de ruido de CED José Asunción Silva?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el modelo acústico de un salón de clase tiene un papel muy importante ya que contribuye en la comprensión de un mensaje entre un transmisor y un receptor, siendo en este caso específico el canal de comunicación entre el profesor y los estudiantes. La información transmitida por el docente depende de las características acústicas del aula, parámetros como el aislamiento de ruido exterior y la inteligibilidad de la palabra aportan al aprendizaje de los niños debido a que influye en el mensaje transmitido para que sea captado y entendido por los oyentes.

Los modelos acústicos que se plantean para las aulas ubicadas en los distintos sectores de la institución ayudarán a que el ambiente de estudio sea el adecuado, eliminando interrupciones en las clases debido al ruido exterior e interior producido por diferentes fuentes sonoras e igualmente se alcanzará una buena inteligibilidad de la palabra con un óptimo tiempo de reverberación contribuyendo al rendimiento académico de los escolares, disminuyendo el esfuerzo de la voz por parte de los maestros, mejorando la salud física y mental de la comunidad educativa y brindando confort acústico para ambos eslabones del canal de comunicación.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1 Objetivo General. Diseñar un modelo acústico que controle los diferentes niveles de ruido de tres aulas de clase del CED José Asunción Silva.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Realizar levantamiento de planos.
- Ejecutar mediciones acústicas y de ruido de acuerdo a la resolución 0627 del 7 de Abril de 2006, las normativas ISO 3382 e ISO 140.
- Comparar el estado actual de los salones con las normativas y los criterios existentes.
- Diseñar el modelo de aislamiento y acondicionamiento acústico de las aulas según los lineamientos de la norma ANSI-ASA S12.6 Parte 2.
- Simular el comportamiento del acondicionamiento acústico de los modelos por medio del software de predicción CATT Acoustics Versión Demo.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Al terminar el proyecto se presentará un informe de las mediciones a la institución y según la decisión que tome la Junta Directiva se enseñará la propuesta del diseño para que la institución la estudie y la incluya dentro de su presupuesto, de ser así se presentará la propuesta final a la Secretaria de Educación la cual definirá la aprobación del proyecto de acuerdo al presupuesto asignado al CED.

Adicionalmente del desarrollo de este proyecto en el CED José Asunción Silva se aspira ilustrarlo como un modelo para otras instituciones que presenten el mismo problema y requieran de un aislamiento y acondicionamiento acústico en los salones de clase.

Este modelo acústico se restringe a las aulas de clase luego que por motivos de seguridad no fue posible obtener acceso a las otras dependencias como las oficinas administrativas y los laboratorios. Asimismo porque la comunidad de estudiantes y docentes son los más afectados por los niveles de ruido y por la pobre inteligibilidad de la palabra de las aulas.

El espacio de los salones no es lo suficientemente grande como lo proponen las normas lo que genera excepciones según el área a medir para llevar a cabo las mediciones correspondientes, además la recolección de información de parámetros acústicos de los salones y los niveles de ruido del CED se limitan a realizarlas con equipos tipo 2 y no tipo 1 como lo sugieren las normas debido a que la universidad no cuenta con estos dispositivos, al igual que no posee la licencia del software del programa Catt Acoustics por lo cual las simulaciones son realizadas con una versión DEMO del software. Otra limitación es la carencia de

planos del CED, lo cual fue necesario efectuar el levantamiento de los mismos aumentando el tiempo programado para realizar el proyecto.

2. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es por una parte Empírico – Analítica ya que el proyecto se realiza con base a teorías, documentos y normas las cuales puedan ser aplicadas al proyecto para obtener un producto que cumpla con los requisitos de una buena calidad y con características profesionales; también es una investigación Crítico – Social, puesto que se estudia los niveles actuales de ruido que recibe el CED y conocer si están dentro de los rangos que se presentan en la Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006. La finalidad del proyecto es proponer una solución para reducir los niveles de ruido y ofrecer confort acústico desarrollando un ambiente de estudio más agradable.

Para alcanzar los objetivos se definen la siguiente actividades:

1. Recolección de información y normativas en aislamiento y acondicionamiento acústico en salones de clase.
2. Levantamiento de planos del establecimiento educativo a aislar y acondicionar.
3. Mediciones acústicas de los salones de clase.
4. Análisis de las mediciones y comparación de los resultados con el material investigado.
5. Definición de la propuesta de aislamiento y acondicionamiento acústico de acuerdo a los resultados obtenidos.
6. Elaboración de planos, informes técnicos, propuesta de aislamiento y acondicionamiento en 3D, simulación de acondicionamiento acústico y especificaciones para el mejoramiento acústico de los salones de clase.

2.1 HIPÓTESIS

Realizando las mediciones de niveles de ruido según la normativa existente, se pueden conocer las condiciones acústicas actuales de las aulas. Al analizar los datos obtenidos y compararlos con los parámetros recomendados es posible descubrir las falencias de cada espacio, obteniendo las pautas necesarias para llevar a cabo los diseños para el aislamiento y acondicionamiento según los estándares y la zona en que se encuentra ubicado cada uno de los salones.

2.2 VARIABLES

2.2.1 Variables Independientes

- Los niveles de ruido han aumentado debido al crecimiento de las zonas urbanas.
- Construcción de salones de clase con materiales de bajo coeficiente de absorción y excesivamente reflectivos.

2.2.2 Variables Dependientes

- El impacto negativo en la salud física y psicológica de los estudiantes y docentes de los establecimientos educativos.
- Falta de concentración por parte de los estudiantes.

3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD / NUCLEOS PROBLÉMICOS.

Este proyecto se encuentra en la línea de investigación de la universidad: tecnologías actuales y sociedad, debido a que la solución planteada para el proyecto se desarrolla a partir de software para predecir el comportamiento acústico del diseño que se propone con el fin de brindar óptimos resultados y mejorar la calidad de vida de los estudiantes y docentes que diariamente están expuestos a la contaminación auditiva. Siguiendo por la línea de investigación de la facultad: análisis y procesamiento de señales porque el estudio del comportamiento de las ondas sonoras que se presenta en los tres salones es con el fin de elegir los materiales y la distribución adecuada para cada uno de los casos; para esto es necesario partir de las normas y procesos que exige este tipo de investigación, usando la instrumentación adecuada para desarrollar las mediciones correspondientes. El núcleo problémico de la investigación es la acústica y audio, a razón del estudio de los fenómenos ondulatorios actuales que se presenta en los establecimientos educativos para así plantear un modelo que contribuya a mejorar la calidad del sonido en los salones.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Ruido. El ruido es una mezcla compleja de varias frecuencias las que producen una sensación desagradable para el oído humano. A partir de esta definición, podríamos decir que el ruido consiste en una señal no deseada. A niveles muy altos produce pérdidas temporales de la audición y la prolongación en el tiempo provocará pérdidas permanentes.

Existen varios de tipos ruidos fundamentales los cuales se utilizan tanto para mediciones, diseño de microfonería, acústica, amplificación, electrónica y otros tipos de medios tecnológicos, algunos de estos ruidos, son:

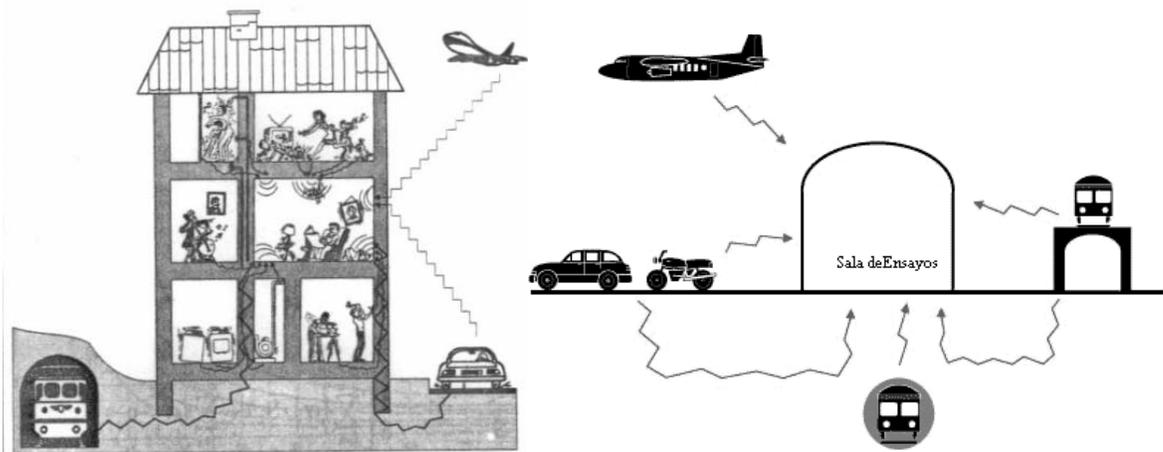


Figura 1. Ruidos más comunes a nivel urbano

Ruido Ambiente: Es el ruido externo en general que se filtra en un recinto determinado.

Ruido de Fondo: Se denomina ruido de fondo a los sonidos generados por fuentes externas al recinto que se desea evaluar independiente de las fuentes internas que generan perturbaciones.

Ruido Continuo: Es el sonido generado por fuentes que funcionan sin ningún tipo de interrupción como por ejemplos los ventiladores o las bombas. Para medir este

tipo de ruido no es necesario que su medición sea extensa, basta con tomar una muestra de unos minutos.

Ruido Intermitente: Este ruido no es constante como el anterior se presenta por ciclos o sucesos. Ejemplo de esta clase de ruido es el generado por los aviones y vehículos o máquinas que operan en determinado tiempo. Su medición es igual que el continuo pero se especifica la duración de su ciclo.

Ruido Impulsivo: Como ruido impulsivo se tiene como ejemplo el de un martillo o explosiones que se caracterizan por ser sonidos con alto contenido energético pero con una duración pequeña.

Ruido de baja frecuencia: El ruido de baja frecuencia es característico en máquinas de gran magnitud y en medios de transporte que usan motores tipo diesel. Este tipo de ruido contiene un gran contenido de energía acústica en el rango de frecuencias de 8Hz a 100Hz. Es percibida por las personas por medio de vibraciones que viajan por vía sólida. Cuando se presencia una diferencia de más de 10 dB en las frecuencia bajas entre el nivel sonoro ponderado A y el lineal es debido a la existencia de niveles altos en las bajas frecuencias.

Ruido Blanco: Este tipo de ruido se caracteriza porque cada banda de frecuencia tiene la misma amplitud y densidad espectral de potencia. Al ser visualizado se puede presenciar que su ancho de banda es constante, y su espectro en función de la frecuencia es continuo y uniforme.

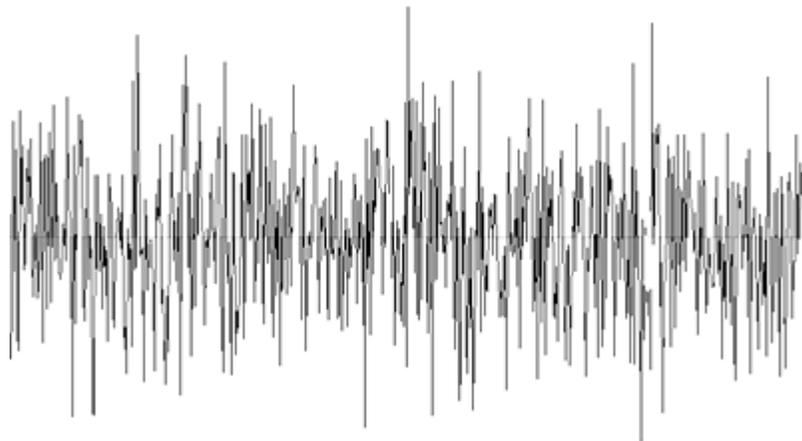


Figura 2: Ruido Blanco.

Ruido Rosa: Es un ruido aleatorio y su contenido energético disminuye 3 dB por cada banda de octava. Es muy común para mediciones acústicas y para obtener la respuesta en frecuencia en los amplificadores especialmente para los de clase A.

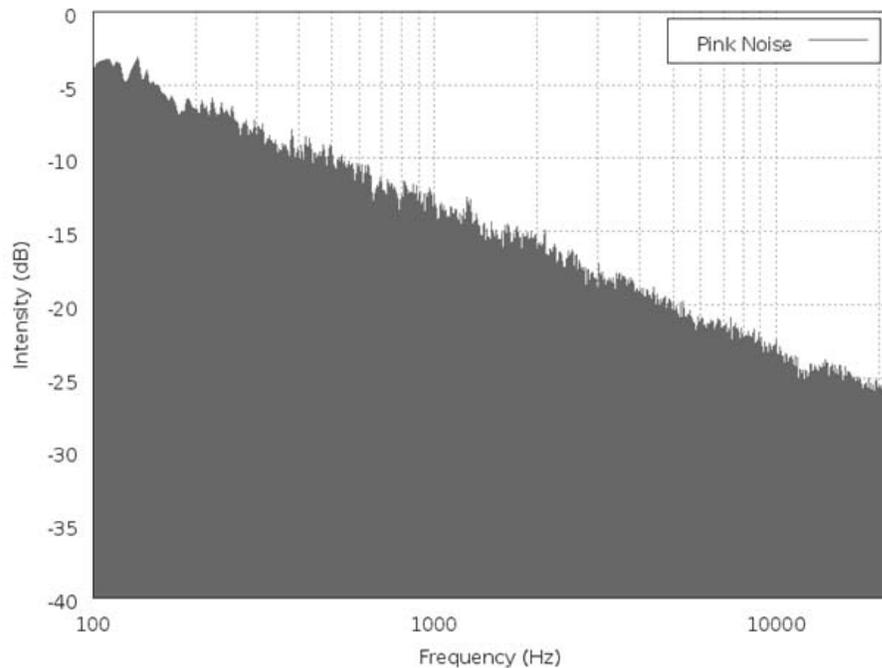


Figura 3: Ruido Rosa.

Barrido de frecuencias sinusoide: En inglés Log Sine Sweep es como lo dice su nombre un barrido de frecuencias generalmente del rango audible (20Hz – 20KHz). Su aplicación generalmente es para analizar la respuesta del impulso en dispositivos electro-acústicos y recintos.

Ruido Eléctrico Pseudoaleatorio: Es una señal no aleatoria generada por una secuencia de impulsos que se repite periódicamente. Este tipo de señales se utilizan en algunos instrumentos electrónicos o como una señal portadora en la síntesis sustractiva y su periodicidad puede llegar a durar millones de años como en el caso de los dispositivos criptográficos.

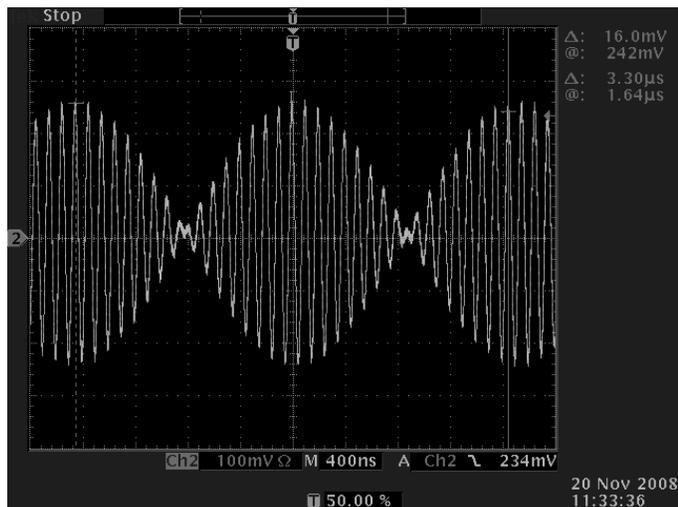


Figura 4: Ruido eléctrico pseudoaleatorio.

La Contaminación acústica es aquella que altera las condiciones de sonido normales del medio ambiente en una determinada zona. El ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, pero puede causar grandes daños en la *calidad de vida* de las personas si no es controlada.

“El término contaminación acústica hace referencia al ruido (entendido como sonido excesivo y molesto), provocado por las actividades humanas (tráfico, industrias, locales de ocio, etc.), que produce efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas.”²

Las principales causas de la contaminación acústica son aquellas relacionadas con las actividades humanas como el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras. Si se exceden los límites previstos por organismos internacionales, se corre el riesgo de una disminución importante en la capacidad auditiva, así como la posibilidad de trastornos que van desde lo psicológico (paranoia, perversión, psicosis, esquizofrenia múltiple y simple, trastornos de personalidad, crisis depresivas, aparición de tendencias suicidas, desgano vital, regresiones) hasta lo sexual (impotencia, dificultad en conseguir una erección, eyaculación precoz, aparición de grumos de color rosado en el esperma)

“Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera los 50 dBA, como el límite superior deseable.

En España, se establece como nivel de confort acústico los 55 dBA. Por encima de este nivel, el sonido resulta pernicioso para el descanso y la comunicación.

² <http://es.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%BAfenos>

*Según estudios recientes de la Unión Europea (2005): 80 millones de personas están expuestos diariamente a niveles de ruido ambiental superiores a 65 dBA y otros 170 millones, lo están a niveles ente 55-65 dBA.*³

Para meda medir el impacto del ruido ambiental se utilizan tres indicadores:

Leq o Nivel de Presión sonora continuo equivalente: es el nivel de presión promediado en un determinado periodo de tiempo y esta dado por la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = 10\log_{10}\left(\frac{1}{T_M} \int_Q^{T_M} \left(\frac{P(t)}{P_0}\right)^2 dt\right) \quad (1)$$

Donde:

Leq es el nivel equivalente continuo en ponderación lineal durante un intervalo de tiempo medido Tm en seg.

P(t) es la presión acústica instantánea del sonido.

Po es la presión acústica de referencia igual a 20μPa.

Cuando se obtiene varios registros de Leq de corta duración se realiza la adición de niveles por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Total } L_{eq} = 10\log\left(\frac{10^{\frac{L_{eq1}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq2}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eqn}}{10}}}{n}\right) \quad (2)$$

Nivel sonoro equivalente de 1 hora: Con base a la ecuación (**) se determina el nivel sonoro continuo equivalente para un tiempo de una hora (1HL) y es el promedio de la presión sonora con ponderación A y está dada por la siguiente ecuación:

$$L_{1h} = 10\log\left[\left[\left(\frac{1}{3600}\right) \int_0^{3600} p_A^2(t) dt\right] / p_0^2\right] \quad (3)$$

³ Ibid.

Nivel sonoro diario: es el nivel sonoro continuo equivalente medido entre las 7am hasta las 10pm completando 15 horas. Este se puede medir con un sonómetro integrador durante las 15 horas o calcularlo mediante la ecuación:

$$L_d = 10 \log \left[\left(\frac{1}{15} \right) \int_{0800}^{2200} 10^{0,1 L_{th}(i)} \right] \quad (4)$$

Donde los niveles sonoros continuos equivalentes son intervalos de una hora durante las horas que finalizan.

SEL o Sound Exposure Level: El SEL es el nivel LEQ de un ruido de 1 segundo de duración. El SEL se utiliza para medir el número de ocasiones en que se superan los niveles de ruido tolerado en sitios específicos: barrios residenciales, hospitales, escuelas, entre otros y es dada por la siguiente ecuación:

$$L_{AE} = 10 \log (E_A / E_0) \quad (5)$$

Donde:

E_A es la exposición sonora en ponderación A [Pa^2seg].

E_0 es la exposición sonora de referencia dada por:

$$E_0 = P_0^2 t_0 \quad (7)$$

t_0 tiempo de referencia 1 seg.

Se desea controlar el ruido intrusivo del tránsito aéreo y vehicular hacia los salones en cuanto a que este no sea una molestia para los establecimientos educativos y además mejorar el acondicionamiento de los salones. Para esto se aplica la ley de masas con sistema de doble muro complementando con materiales absorbentes. Al hacer esto se logra trabajar lo que se conoce por pérdidas por transmisión TL (Transmissions Loss).

Control de ruido como su nombre lo dice es simplemente el control de este fenómeno a través de materiales, acondicionamientos y otros medios.

En la figura 5 se observa un ejemplo de cómo aislar las posibles fuentes de ruido en una fábrica con diferentes clases de maquinaria. El aislamiento en esta gráfica consta de materiales aislantes en techos, paredes y puertas, además para algunas de estas máquinas se encuentran aisladas por medio de paneles acústicos.

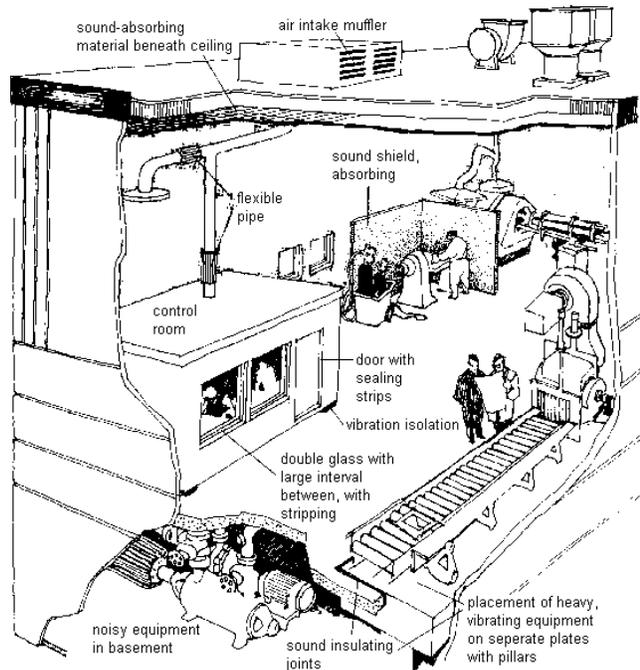


Figura 5. Control de ruido

Encontrar solución a los problemas de ruidos, requiere:

- Evaluarlos.
- Conocer su origen y vía de transmisión.
- Aplicar soluciones correctoras.

El proyecto debe incluir un estudio de las evaluaciones acústicas esperadas en los locales del edificio, así como las medidas aplicables para que los ruidos no representen un nivel sonoro inadecuado, según las normativas exigidas, o bien unas condiciones de confort mínimas para los usuarios.

Tipos de ruido.

a) Ruido Aéreo.

Es aquél que se produce y transmite en el aire. Corresponden a este caso la voz humana, la televisión, la radio, el teléfono... La fuente del ruido es fácil de identificar, y su transmisión al receptor se produce directamente por el aire (huecos), o a través de las vibraciones que produce el aire sobre los elementos de separación entre el local emisor y receptor.

En la climatización pueden percibirse ruidos aéreos a través de los conductos debido a:

- Emisión desde los equipos motoventiladores.
- Emisión fluido-dinámica del aire, producida por variaciones de presión del aire circulante, así como los producidos por rozamiento del aire en los conductos por cambios de dirección o velocidad elevada.
- Transmisión cruzada, es decir, ruidos producidos en un local y percibidos en otro, siendo la vía de transmisión la red de conductos.

b) Ruido de transmisión por vía sólida – Ruido Impacto.

Son aquellos ruidos producidos por impacto o choque en la estructura del edificio y que se transmiten por esa vía hasta los locales, produciendo vibraciones de los elementos portantes y divisorios.

En general, son ruidos que se manifiestan en locales a veces muy alejados del origen, debido a la gran facilidad del sonido para transmitirse por los sólidos, lo que dificulta las posibilidades de detectar su procedencia.

Ejemplos típicos de estos ruidos, son las vibraciones producidas por los equipos mecánicos en funcionamiento, transmitidas por sus apoyos a la estructura, como es el caso de lavadoras, lavavajillas, climatizadores, torres de enfriamiento, etc.

Criterios de evaluación de ruido de fondo. El ruido ambiental en niveles excesivos puede llegar a enmascarar un mensaje y causar molestias auditivas en las personas por lo cual es necesario reducir estos niveles. Para esto existen perfiles que establecen los niveles de ruido ideales para cada banda de frecuencias y ayudan a evaluar la calidad acústica del espacio.

Estos criterios se pueden aplicar en la etapa de diseño de un proyecto de obra o para verificar si en los espacios ya existentes cumplen con los niveles de ruido según la actividad que se realice en ese espacio. Principalmente existen tres criterios:

Criterio NC. Las curvas NC (Noise Criteria) fueron creadas en 1957 por Leo Beranek con el fin de evaluar los niveles de ruido y que a su vez estos no perturben la comunicación en una sala, estas curvas tienen en cuenta los niveles de interferencia y de sonoridad.

“...las curvas NC siguen de forma aproximada la evolución de la sensibilidad del oído en función de la frecuencia. Ello significa que para una determinada curva NC los niveles SPL máximos permitidos a bajas frecuencias (sonidos graves) son siempre mas elevados que los correspondientes a frecuencias altas (sonidos

agudos), ya que el oído es menos sensible a medida que la frecuencia considerada es menor.”⁴

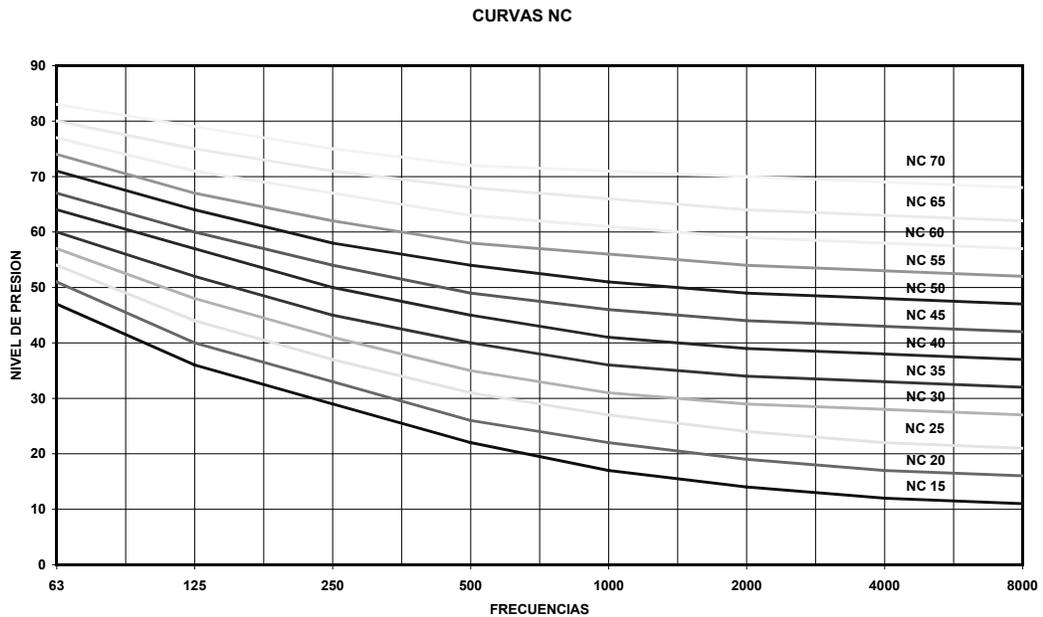


Figura 6. Curvas criterio de ruido NC.

Las curvas NC también son utilizadas para alcanzar una optima calidad de aislamiento en cada banda de frecuencia con el fin de lograr el confort requerido. Las curvas son perfiles de referencia para todo tipo de establecimiento el cual cada uno según su actividad esta clasificado en una determinada curva como se observa en la tabla 1.

Para obtener la curva NC se traza los niveles por banda de octavas para un determinado espectro de ruido, a este espectro se le da una apreciación NC dependiendo de la curva que se encuentre seguida a este. En la figura 7 se expone un ejemplo del modo cómo se aplica los perfiles y para este caso su NC será NC-57 porque esta es la curva mas cercana y superior al espectro de ruido que se esta calificando.

⁴ CARRION, Antoni., “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”. Edicions UPC, S.L. México: Alfaomega, 2001. p. 42

MÁXIMOS VALORES DE RUIDO ACEPTABLES EN DESOCUPADOS	
ACTIVIDAD DEL RECINTO	CRITERIO NC RECOMENDADO
Estudio de grabación	NC 10-20
Salas de conciertos	NC 15-20
Estudios de TV y salas de música	NC 20-25
Teatros	NC 20-25
Residencias privadas	NC 25-30
Salas de conferencias	NC 25-30
Aulas, salas de lectura	NC 25-30
Oficinas ejecutivas	NC 25-30
Oficinas privadas	NC 30-35
Iglesias	NC 30-35
Cinematógrafos	NC 30-35
Departamentos, dormitorios de hoteles	NC 30-35
Cortes de Justicia	NC 35-40
Oficinas	NC 35-40
Bibliotecas	NC 35-40
Áreas públicas	NC 35-40
Restaurantes	NC 40-45
Grandes oficinas	NC 40-45

Tabla 1: Máximos valores de ruido aceptables según su actividad.

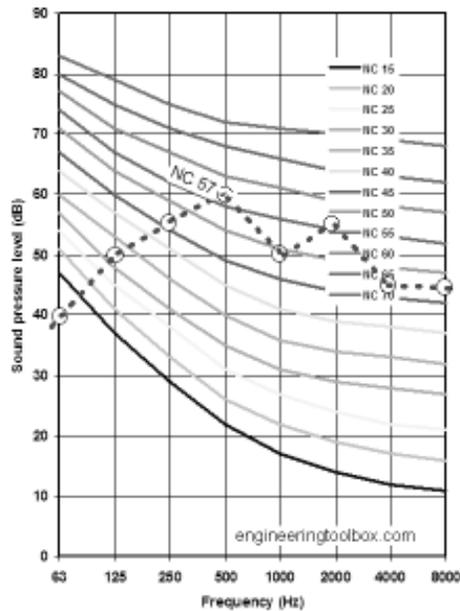


Figura 7. Ejemplo Criterio NC.

Criterio PNC. Las curvas PNC (preferid Noise Criteria) son una modificación de las curvas NC en el año 1971. Estas curvas tiene 1db menos que las curvas NC en las bandas de 125, 250, 500 y 1K Hz, además considera los niveles para bajas frecuencias por eso se usan a menudo para evaluar los niveles de ruido de ventilación y otros sistemas que tengan contenidos en bajas frecuencias.

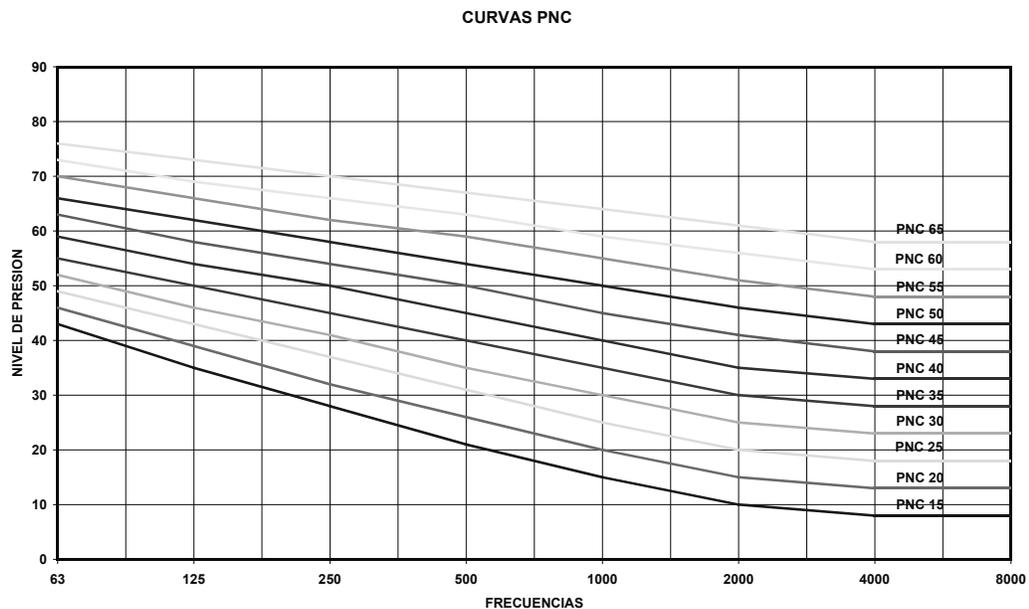


Figura 8. Curvas Criterio PNC.

Para este proyecto no se aplica las curvas PNC porque los salones no cuentan con sistema de ventilación.

Criterio NR. Las curvas Noise Rating NR hacen referencia a la norma ISO 1996-1:2003 para determinar el ruido ambiente aceptable para la una audiencia, su preservación, la inteligibilidad del discurso y las molestias que se pueden presentar debido al ruido.

Al crear estas curvas se tuvieron las mismas consideraciones y el mismo propósito que las NC la diferencia es que en Europa prefieren usar las curvas NR y en Estados Unidos las curvas NC.

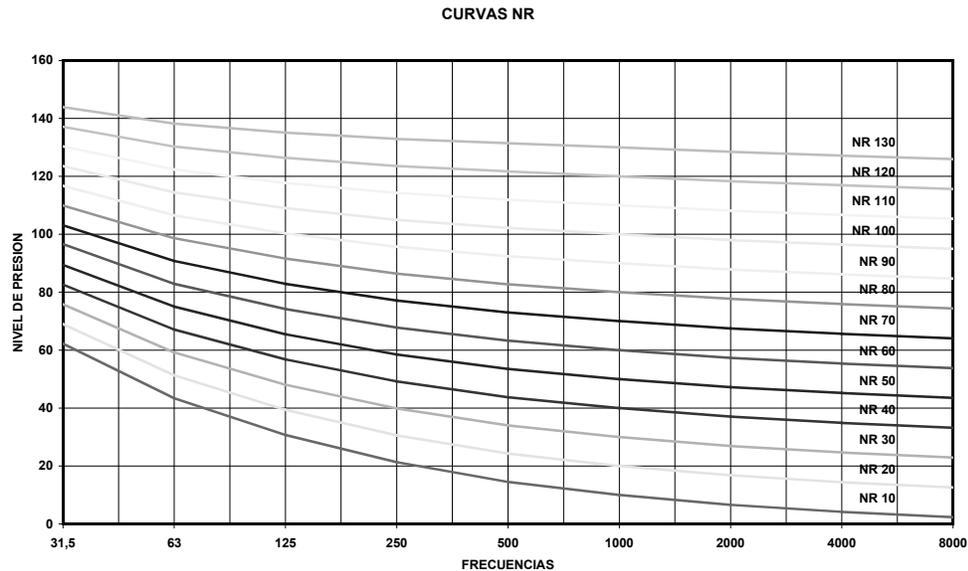


Figura 9. Curvas Criterio NR.

4.1.2 Aislamiento. Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y, recíprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior.

El aislamiento acústico (o aislamiento sonoro) es muy importante en todo lo que tenga que ver con sonido profesional. Si el recinto es una sala de concierto o de espectáculos en la cual se ejecuta o propaga música a alto nivel sonoro, es preciso evitar que los sonidos trasciendan convirtiéndose en ruidos molestos al vecindario. Si se trata de una sala de grabación o un estudio radiofónico, cualquier ruido proveniente del exterior contaminará el sonido que se desea difundir o grabar, en desmedro de su calidad, lo cual también debe evitarse.

En una primera aproximación al problema, podemos observar que el aislamiento sonoro se logra interponiendo una pared o tabique entre la *fente sonora* y el *receptor*.

El aislamiento es mayor cuanto mayor sea la densidad superficial (kg/m^2) del tabique y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido. Esta es la razón por la cual las paredes gruesas (y por lo tanto pesadas) ofrecen mayor aislamiento que las delgadas. También explica por qué la música del vecino se escucha mucho más la base rítmica de la percusión grave que las melodías, por lo general más agudas.

Un análisis más detallado indica que es posible obtener mayor aislamiento acústico por medio de tabiques dobles o múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material podemos sacarle mayor provecho si lo dividimos en dos partes y lo separamos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con

algún material absorbente (típicamente, lana de vidrio), el resultado es un aislamiento aun mayor. Este tipo de estructura se utiliza mucho con placas de roca o de yeso. Estas placas están formadas por yeso recubierto a ambos lados por celulosa (cartón). El espesor es, normalmente, unos 12 mm, y se suelen usar de a 2 separadas 50, 70 ó 90 mm mediante perfiles de chapa. El espacio entre ambas placas se rellena con lana de vidrio.

El aislamiento que se logra es sorprendente para el espesor y el peso total. Se puede obtener mayor aislamiento utilizando dos placas de roca de yeso de cada lado, instaladas sobre perfiles independientes para evitar las conexiones rígidas propensas a transmitir las vibraciones (estructura alternada).

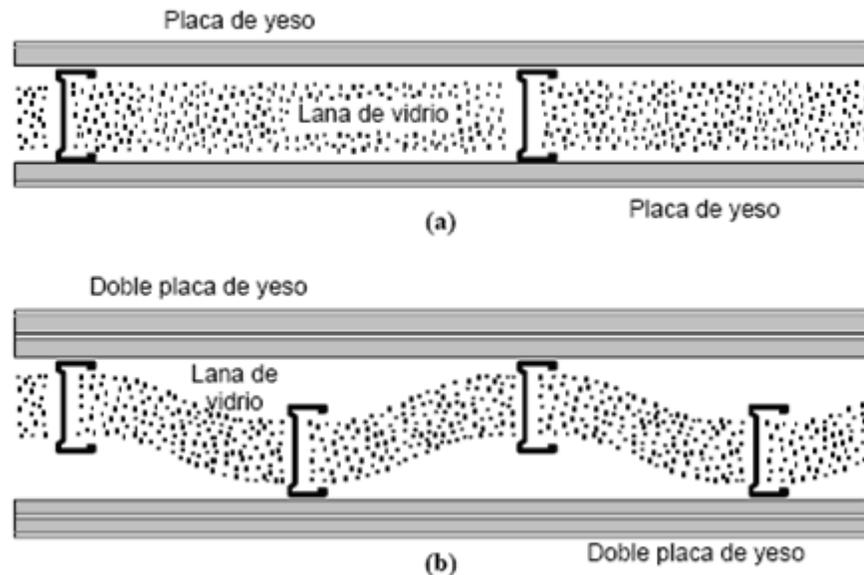


Figura 10. Ejemplos de Aislamientos. (a) Montaje de placas de yeso con estructura formada por perfiles de chapa. (b) Estructura alternada sin conexión rígida.

También se utiliza el concepto de tabique doble para construir ventanas de gran aislamiento sonoro, como las “peceras” que separan la sala de control de la sala de grabación de los estudios. En este caso se utilizan dos hojas de vidrio grueso de distintos espesores (por ejemplo 6 mm y 8 mm), fijados al marco mediante masillas no endurecibles de silicona. En los bordes interiores (en forma más o menos oculta) se coloca material absorbente, como lana de vidrio o espuma de poliuretano. Para evitar que por diferencias de temperatura se produzcan condensaciones por dentro, lo cual empañaría los vidrios, se colocan gránulos de gel de sílica, un poderoso deshumectante. En la figura 11 se muestra la estructura de una ventana de este tipo.

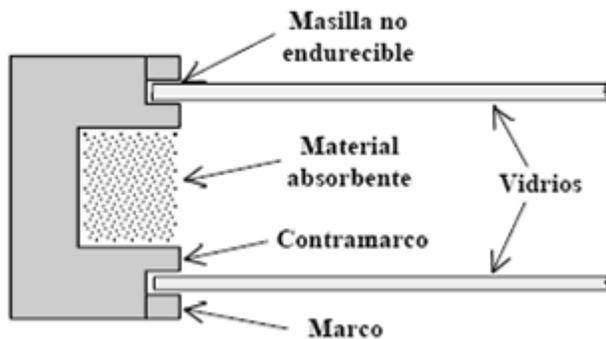


Figura 11. Ejemplos de Aislamiento para ventanas con vidrio doble.

Para catalogar el aislamiento acústico de diferentes materiales y estructuras se usan dos parámetros: la pérdida de transmisión TL (transmissions loss), y la clase de transmisión sonora, STC (Estados Unidos), o el índice de reducción acústica, RW (Europa y Argentina).

La pérdida de transmisión TL es un parámetro expresado en dB que depende de la frecuencia e indica en cuánto se atenúa la energía sonora incidente al atravesar el tabique. Así, una pérdida de transmisión de 40 dB significa que la energía sonora que pasa al otro lado es 40 dB menor que el incidente.

La clase de transmisión sonora (en inglés, sound transmission class), STC, es un valor promedio de la pérdida de transmisión entre los 125Hz hasta los 4 Hz. Es un valor único que permite evaluar rápidamente la calidad del aislamiento que ofrece un tabique, especialmente en lo referido a la privacidad de la palabra. Así, un valor de STC inferior a 25 implica que la voz normal se entiende perfectamente, y un valor superior a 45 implica que la voz alta casi no se percibe. El índice de reducción sonora R_w es la versión europea, también usada en la Argentina (puede diferir hasta en 1 dB).

La transmisión por flancos, es el sonido que se filtra a través de fisuras, intersticios juntas mal selladas, o que se propaga por la estructura en forma de vibraciones, que se transmite por tuberías de ventilación, aire acondicionado, o por los caños de distribución de energía eléctrica. En toda investigación de aislamiento acústico se tiene en cuenta todos estos detalles, ya que de lo contrario se corre el riesgo de invertir grandes sumas de dinero sin lograr los resultados esperados. Es importante saber que el intersticio debajo de una puerta puede llegar a empeorar la atenuación de una pared en 20 dB ó más. Pueden utilizarse burletes perimetrales en las puertas y masilla con silicona (es decir, no endurecible) en toda fisura, grieta o junta.

Al hablar de soluciones de aislamiento acústico, siempre se deben entender como las mínimas indispensables aquellas que consigan el grado de intimidad requerido

por las Normativas y recomendaciones vigentes en los distintos habitáculos de un edificio.

Existe la posibilidad de adoptar medidas que no lleguen a cumplir con estos objetivos, fundamentalmente por el gran desconocimiento que se tiene del aislamiento acústico, unas veces provocado por no aplicar la solución constructiva idónea, y otras, pese a estar correctamente aislado, por la creencia que una vez conseguido se puede provocar cualquier nivel de ruido.

Aislamiento y Absorción de la Energía. La energía del sonido que incide (E_i) se descompone en la energía reflejada al medio emisor (E_r) y la energía absorbida (E_a), es decir, la energía no reflejada. A su vez, la energía absorbida se distribuye en energía disipada en el material (E_d) y energía transmitida al medio receptor (E_t).

Toda superficie que compone un recinto refleja una parte de la la onda sonora que incide en ella y otra es absorbida según su coeficiente de absorción identificado por la letra α (alfa), este se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente de la onda.

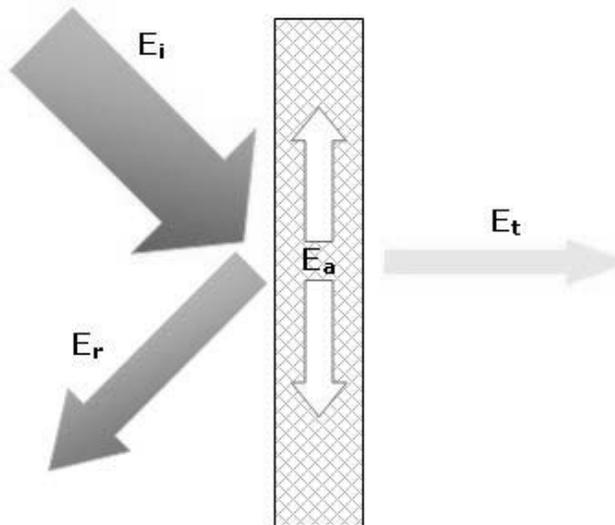


Figura 12. Absorción de la energía.

Pérdida por Transmisión

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (8)$$

Donde:

$$\tau = \frac{W_T}{W_i} \quad (9)$$

WT = Potencia Sonora Transmitida.

Wi = Potencia Sonora Incidente.

Ley de Masas

$$TL = 20 \log \left(\frac{m\omega}{2Z} \right) = 20 \log(mf) - 43(dB) \quad (10)$$

Siendo,

f = Frecuencia en Hz ($\omega = 2\pi f$)

m = masa de la superficie en kg/m²

Z = 415 rayls para el aire (Impedancia Acústica)

Índice del Aislamiento Acústico

$$R = Lp_1 - Lp_2 \quad (11)$$

Donde Lp1 y Lp2 son el nivel de presión sonora en el emisor y el receptor.

La energía acústica transmitida a través de una pared es la diferencia entre el nivel de presión acústica del sonido incidente y el aislamiento acústico del material.

El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por lo tanto poco absorbentes del sonido, y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.

Cálculo de aislamiento.

Paredes Simples. Como se mencionó anteriormente el aislamiento acústico de un recinto impide que los sonidos exteriores se perciban en su interior o inversamente. El aislamiento, basado en el criterio dado por ley de masas, es directamente proporcional a la masa del material; es decir que para obtener un mayor aislamiento, es necesario elegir un material con mayor masa.

En este documento se toma el método propuesto por Randall F. Barron de la Universidad Técnica de Louisiana en su libro "Control de Ruido Industrial y Acústica" debido que por medio de este calculo se puede analizar el

comportamiento del material por octavas de frecuencias y es posible separar el análisis por regiones.

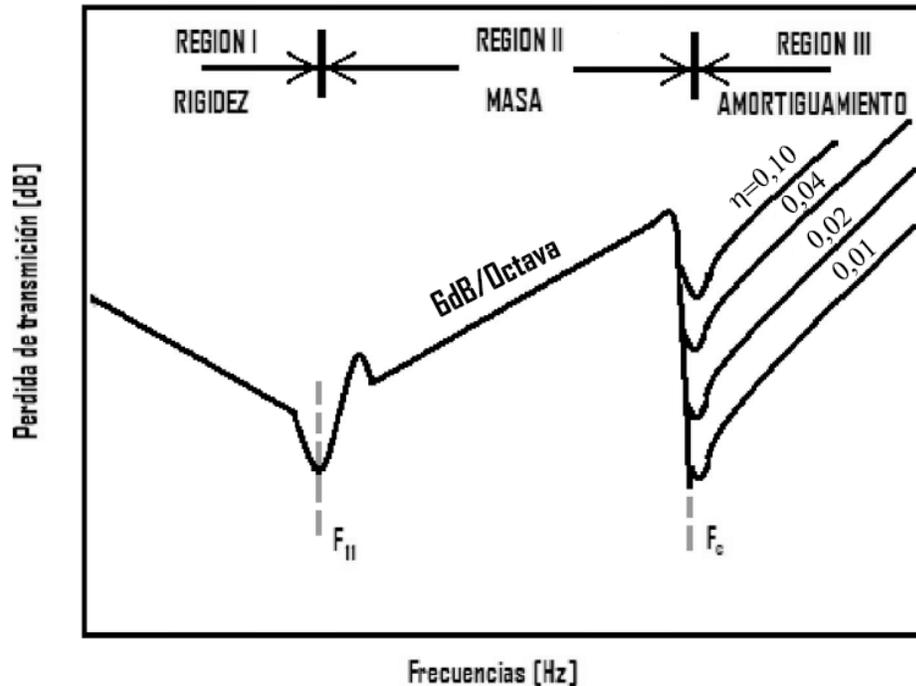


Figura 13. Pérdida de transmisión de materiales sólidos.

Inicialmente se identifica el tipo de materiales que conforman el muro con las dimensiones y propiedades físicas de cada uno; algunas de las características de los materiales se obtuvieron de la tabla de propiedades de los sólidos dada por Barron (Ver Anexo A).

La frecuencia de resonancia y la frecuencia crítica de cada elemento están dadas por las siguientes ecuaciones.

$$f_{11} = \left(\frac{\pi}{4\sqrt{3}} \right) \cdot C_L \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \cdot h \quad (12)$$

Donde:

CL es la velocidad de las ondas longitudinales [m/s]

a el ancho del material [m]

b el alto del material [m]

h es el grosor del material [m]

CL esta dado por:

$$C_L = \left[\frac{E}{\rho_w(1-\sigma^2)} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Donde:

E Módulo de Young [Pa]
 ρ_w Densidad del material [Kg/m³]
 σ Coeficiente de Poisson

La frecuencia crítica está dada por:

$$f_c = \frac{\sqrt{3}c^2}{\pi C_L h} \quad (14)$$

Siendo c la velocidad del sonido en m/s.

Al obtener los valores de la frecuencia de resonancia y la frecuencia crítica de los elementos se procede a calcular el TL para cada banda de octava y se analiza por regiones (Rigidez, Masa y Amortiguamiento).

Región I (Rigidez): Esta región llamada Incidencia Aleatoria esta conformada entre los 20 Hz hasta la frecuencia de resonancia y se obtiene por medio de:

$$T_{LI} = 10 \log \left(\frac{1}{K_s^2} \right) - 10 \log \left[\text{Ln} \left(1 + \left(\frac{1}{K_s^2} \right) \right) \right] \quad (15)$$

Donde Ks esta dada por:

$$K_s = 4\pi\rho c f C_s \quad (16)$$

Siendo:

ρ es la densidad del aire [1,21 Kg/m³]
c es la velocidad del sonido [343 m/s a 20°C de temperatura]
f la frecuencia [Hz]
Cs es la compliancia acústica [m³/N]

Luego Cs se calcula por:

$$C_s = \frac{768(1-\sigma^2)}{\pi^8 E h^3 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} \quad (17)$$

Donde:

σ Coeficiente de Poisson
E Módulo de Young [Pa]
h es el grosor del material [m]
a el ancho del material [m]
b el alto del material [m]

Región II (Masa): Esta región esta controlada por la masa de los materiales, la cual está ubicada gráficamente entre la frecuencia de resonancia y la frecuencia crítica y se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$T_{LII} = 10 \text{Log} \left(1 + \left(\frac{\pi f M_s}{\rho c} \right)^2 \right) \quad (18)$$

Donde:

TLn es la pérdida por transmisión a incidencia normal [dB]
Ms es la densidad superficial [Kg/m²] dada por:

$$M_s = h \rho_w \quad (19)$$

La pérdida por transmisión controlada por masa esta dada por:

$$T_L = T_{Ln} - 5 \quad (20)$$

Región III (Amortiguamiento): Esta región se analiza desde la frecuencia crítica hasta la banda de octava de 16KHz y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$T_{LIII} = T_{Ln}(f_c) + 10 \log \eta + 33,22 \log \left(\frac{f}{f_c} \right) - 5,7 \quad (21)$$

Siendo:

TLn(Fc) es la pérdida por transmisión en incidencia normal en la frecuencia crítica [dB]

η es el coeficiente de amortiguación.

f es la frecuencia a estudiar [Hz]

fc es la frecuencia crítica [Hz]

Al obtener los valores de pérdida por transmisión para cada banda de octava estableciendo los cálculos por región para cada uno de los materiales, se procede a calcular el factor de atenuación de cada elemento dado por la siguiente ecuación.

$$a_{Tn} = \frac{1}{10^{TL_n/10}} \quad (22)$$

Luego se promedia el valor para así calcular la pérdida por transmisión total del muro compuesto. Siendo

$$a_t = \frac{\sum a_{ti} S_i}{S} \quad (23)$$

Entonces la pérdida por transmisión total es:

$$TL_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{a_t} \right) \quad (24)$$

Aislamiento de dos muros con espacio de aire. Debido a que el aislamiento es directamente proporcional a la masa de la pared divisoria hay casos en que para llegar a obtener un aislamiento óptimo sale muy costoso debido a la gran masa que se necesita, en ese caso y en la mayoría es aconsejable construir dos paredes separadas por una cámara de aire, este diseño es más eficaz que el de una sola pared ya que la variación de la impedancia de los elementos al aire hace que el sonido disminuya su energía.

Al calcular el aislamiento de muros tenemos:

REGION A: esta región está limitada entre $\frac{\rho c}{\pi(M_{s1} + M_{s2})} < f < f_0$ (25) donde f_0 se

$$\text{da por: } f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left[\frac{\rho}{d} \left(\frac{1}{M_{s1}} + \frac{1}{M_{s2}} \right) \right]} \quad (26)$$

Donde:

c es la velocidad del sonido [m/s²]

d es la distancia entre los muros [m]

ρ es la densidad del aire [1,21 Kg/m³]

M_{s1} y M_{s2} es la masa específica de cada material.

La pérdida de transmisión en esta región se calcula por medio de:

$$Tl_A = 20\log(M_{s1} + M_{s2}) + 20\log(f) - 47.3 \quad (27)$$

REGION B: La pérdida de transmisión en esta región esta dada por:

$$Tl_B = Tl_1 + Tl_2 + 20\log\left(\frac{4\pi fd}{c}\right) \quad (28)$$

Donde:

Tl1 y Tl2 es la pérdida de transmisión regida por la masa de cada material.

F es la frecuencia [Hz]

d es la distancia entre los muros [mt]

c es la velocidad del sonido [m/s²]

Esta región se limita por $f_0 < f < \frac{c}{2\pi d}$ (29)

REGION C. Esta región esta conformada por las frecuencias mayores que $\frac{c}{2\pi d}$ y se obtiene por medio de:

$$Tl_c = Tl_1 + Tl_2 + 10\log\left[\frac{4}{1 + (2/\alpha)}\right] \quad (30)$$

Donde:

Tl1 y Tl2 es la pérdida de transmisión regida por amortiguamiento de cada material.

α es el coeficiente de absorción del material.

Aislamiento de dos láminas unidas. Para mejorar el aislamiento de paredes dobles separadas es aconsejable implementar material absorbente sobre alguna de las paredes en el espacio de aire ya que esto ayudara a disminuir la energía transmitida de las ondas sonoras dentro de la cavidad.

Al calcular el aislamiento de dos láminas es necesario conocer la ubicación del eje neutro de la composición de los paneles el cual es dado por:

$$X = \frac{E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)} \quad (31)$$

Donde:

E Módulo de Young de cada material [Pa]
h es el grosor del material de cada material [m]

Luego se obtiene la rigidez a la flexión del panel se encuentra por medio de:

$$B = \frac{E_1 h_1^3}{12(1 - \sigma_1^2)} \left[1 + 3(1 - 2X/h_1)^2 \right] + \frac{E_2 h_2^3}{12(1 - \sigma_2^2)} \left[1 + 3(1 + 2X/h_2)^2 \right] \quad (32)$$

Donde:

σ Radio de Poisson de cada material

La masa específica con formada por dos láminas esta dada por:

$$M_s = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 \quad (33)$$

Donde:

ρ es la densidad de cada material [Kg/m³]
h es el grosor del material de cada material [m]

Con esto se calcula la frecuencia crítica por medio de:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{M_s}{B} \right)} \quad (34)$$

Luego se calcula la perdida de transmisión de la región II regida por la masa, conformada por las frecuencias menores que la frecuencia crítica dada por:

$$Tl_{II} = 10 \text{Log} \left(1 + \left(\frac{\pi f M_s}{\rho c} \right)^2 \right) - 5 \quad (35)$$

Recuerde que la región regida por el amortiguamiento esta dado por:

$$T_{LIII} = T_{Ln}(f_c) + 10 \log \eta + 33,22 \log \left(\frac{f}{f_c} \right) - 5,7 \quad (36)$$

Donde:

F son las frecuencias mayores que la frecuencia crítica.

η es el coeficiente de los materiales la cual se calcula por medio de:

$$\eta = \frac{(\eta_1 E_1 h_1 + \eta_2 E_2 h_2)(h_1 + h_2)}{E_1 h_1^3 [1 + 3(1 - 2X/h_1)^2] + E_2 h_2^3 [1 + 3(1 + 2X/h_2)^2]} \quad (37)$$

4.1.3 Tiempo de reverberación y coeficientes de absorción. El tiempo que tarda en hacerse inaudible el sonido en una sala, depende de su intensidad. Para poder hacer comparaciones entre sonidos diferentes, es necesario definir una magnitud que no dependa de su intensidad inicial. Se define el tiempo de reverberación como el tiempo necesario para que la intensidad de un sonido disminuya a la millonésima parte de su valor inicial o, lo que es lo mismo, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido.

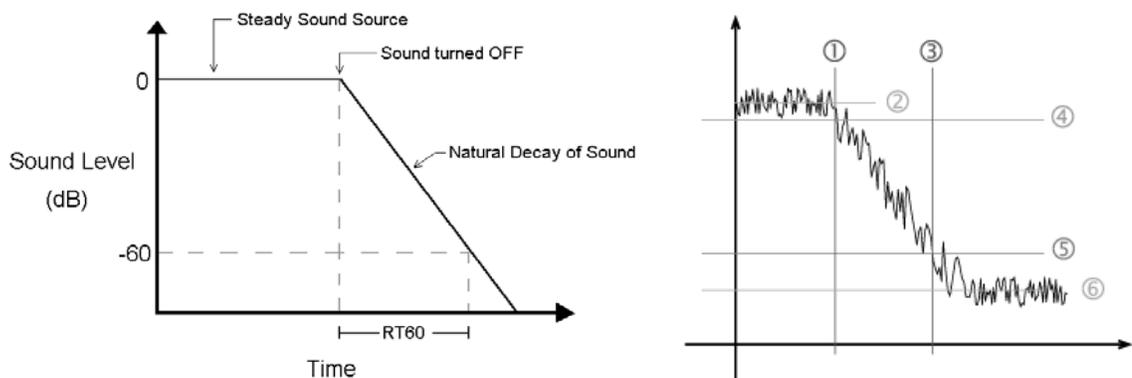


Figura 14: Tiempo de Reverberación.

“Cuando en la misma situación el sonido reflejado nos llega con un tiempo inferior a 1/10 de segundo, nuestro sistema de audición no es capaz de separar ambas señales y las toma como una misma pero con una duración superior de esta. Normalmente esto se entiende como reverberación. La reverberación de un local se mide según su tiempo de reverberación (rt) en segundos y varía según la frecuencia de análisis que se utilice.”⁵

Conociendo el tiempo de reverberación de un local se puede saber como se comportara el mismo en diferentes condiciones sonoras. Cuando el tiempo de

⁵ <http://personal.redestb.es/azpiroz/>

reverberación alcanza valores muy altos con respecto al sonido directo, este tiende a transformarse en eco haciendo de la señal original algo no descifrable.

El coeficiente de absorción de un material es la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo. Dada esta formulación su valor siempre está comprendido entre 0 y 1. El máximo coeficiente de absorción está determinado por un valor de 1, el cual corresponde al 100% de la absorción de la onda incidente, y el valor mínimo 0 que corresponde al 100% de la reflexión de la onda incidente.

El coeficiente de absorción varía con la frecuencia y por tanto los fabricantes de materiales acústicos dan los coeficientes de absorción por lo menos en resolución de una octava.

Fórmula de Sabine. De acuerdo a las experiencias de Sabine, se pudo determinar de manera aproximada el tiempo de reverberación de una sala. Sabine estableció la siguiente ecuación:

$$TR = 0.16 \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S_T} \quad (38)$$

Esta fórmula no incluye el mobiliario ni los eventuales espectadores que pudiesen encontrarse en la sala. Entonces se añade a estas superficies un equivalente. Se puede calcular el coeficiente medio de absorción de una persona multiplicándola posteriormente por el número de personas susceptible de estar presentes.

Al ser el coeficiente de absorción de Sabine más alto que 1, no es un error de medida o cálculos matemáticos, uno puede llegar a pensar que esto es imposible puesto que el coeficiente de absorción de la onda no puede ser mayor que la onda incidente. Esto suele suceder a causa de que ocurre una difracción lo cual hace que el coeficiente de absorción sea tan elevado.

“Wallace C. Sabine fue el encargado de corregir la acústica defectuosa de la principal sala de conferencias del Musée d’ Art Fogg de la Universidad de Harvard. Descubrió la influencia de los materiales absorbentes y transformó la acústica arquitectónica, de un arte empírico en una ciencia relativamente precisa”⁶.

El tiempo de reverberación puede ser medido usando ruido rosa o ruido impulsivo y para captar la señal se usa un sonómetro el cual tenga la opción de calcular el tiempo de reverberación o por medio de un micrófono y un software el cual también analice la señal dando como resultado el tiempo de reverberación. Las

⁶ ROUGERON, Claude. Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Barcelona: ETA, 1977, P. 166

normas ISO estandariza el método de medición obteniendo resultados óptimos según el uso de cada sala específicamente la ISO 3382.

Los resultados de RT 60 también se puede visualizar por medio de una interpolación de la recta entre -5dB y -15dB, estas son comunmente llamadas RT 10, RT20 y RT30 dependiendo del rango que se trabaje, es decir en el caso de RT20 el rango es de -5db hasta -35db. En el caso de EDT (Early Decay Time) es la interpolación de la recta entre los 0dB y -10dB de la respuesta del recinto.

4.1.4 Modos Normales de un recinto. En todo recinto, especialmente los pequeños, se encuentran ondas estacionarias que a lo largo de la sala forman zonas de comprensión y descomprensión debido a la interferencia que se crea entre ellas creando los modos propios de la sala; cada modo depende de las frecuencias propia del recinto, también conocida como frecuencias de resonancia, estas frecuencias están relacionada con las dimensiones de la sala.

Normalmente los modos normales se presentan en bajas frecuencias en recintos muy grandes, pero en recintos pequeños los modos suelen presentarse en que son audibles para el ser humano. Para hallar los modos de una sala es aconsejable que su forma del recinto sea un paralelepípedo con superficies reflejantes, ya que para formas irregulares el método es muy complejo, de ser así para salas regulares la frecuencia propia de la sala se define por medio de:

$$f_{k,m,n} = 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (39)$$

Donde:

$L_x, L_y, y L_z$ son las dimensiones de la sala en metros.

K, m, n es cualquier número entero y representa la combinación de los valores que dan lugar para cada modo propio.

La cantidad de modos que se presentar en una sala puede llegar a ser infinito porque a medida que la frecuencia aumenta también se incrementa la densidad de los modos a tal punto que esta es equivalente a su ausencia y así mismo disminuye las concentraciones de energía.

Para saber hasta que frecuencia es valido identificar la influencia de los modos en un recinto se usa la siguiente expresión:

$$f_{\max} = 1849 \sqrt{\frac{RT_{mid}}{V}} \quad (40)$$

Donde:

RT_{mid} es el tiempo de reverberación promedio entre las bandas de octavas de 500Hz y 1000Hz [seg].

V es el volumen del recinto [m^3].

4.1.5 Campo Sonoro. El campo sonoro es el nivel de presión sonora de cada punto en determinado espacio. El campo sonoro se divide en dos componentes: el campo directo y el campo reverberante. El campo directo contiene la parte del sonido que acaba de ser emitido por la fuente, y que por lo tanto aún no experimentó ninguna reflexión, y el campo reverberante, en cambio, incluye el sonido después de la primera reflexión.

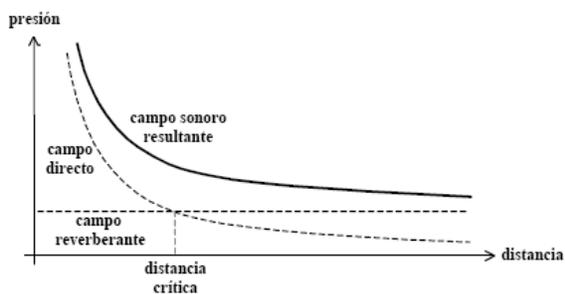


Figura 15. Campo Sonoro.

Estas dos componentes tienen comportamientos muy diferentes. El campo directo disminuye con la distancia respecto a la fuente, y lo hace a razón de 6 dB por cada duplicación de la distancia igual como si estuviera al aire. Así, una persona hablando normalmente a 50m se escuchará sólo muy débilmente en espacio libre.

“El campo Cercano es aquella zona o espacio geométrico muy próximo a la fuente donde se presentan alinealidades respecto de la atenuación del sonido en función de la distancia y exhibe efectos netamente reactivos (de almacenamiento de la energía).”⁷

En cambio en el campo reverberante, el nivel es constante en ambientes cerrados, como habitaciones, salas y otros recintos. Esto se debe a que el sonido sufre multitud de reflexiones, y todas ellas se superponen entre sí, resultando una distribución prácticamente uniforme del sonido.

“El campo Lejano es aquel que se genera a partir de la distancia donde se comienza a cumplir la ley del cuadrado inverso a medida que el receptor se aleja de la fuente (-6dB por cada duplicación de la distancia para fuentes esféricas).”⁸

⁷ Bidondo, Alejandro., “Acustica II. Pdf”. p. 2

⁸Ibid.

En un ambiente cerrado, al estar cerca de la fuente predomina el campo directo, y a cierta distancia predomina el campo reverberante. En la figura se ilustran ambas componentes de la presión sonora y el campo sonoro resultante de la superposición de ambas. A cierta distancia se denominada distancia crítica que limita las regiones en las que predomina uno u otro campo. Por esta razón se suele denominar también campo cercano y campo lejano a las componentes directa y reverberante.

“La Distancia crítica es entonces aquella distancia de la fuente en la cual el aporte de energía es mitad debido al campo libre y mitad debida al campo reverberante.”⁹

Hopkins – Stryker proponen calcular los niveles para cada campo sonoro según como se observa en la siguiente gráfica.

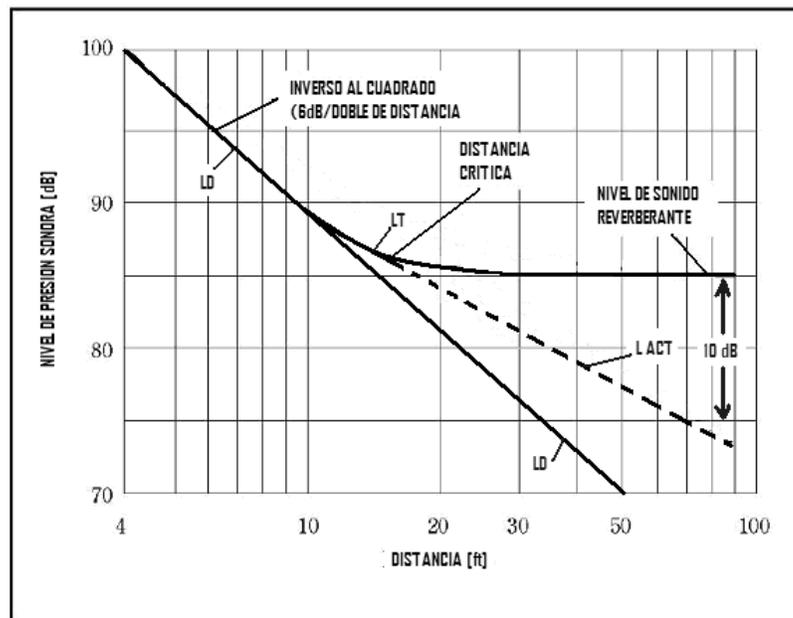


Figura 16. Niveles del Campo Sonoro.

Inicialmente se calcula la distancia crítica la cual esta dada por:

$$D_c = 0,057 \sqrt{\frac{QVM_a M_e}{RT_{60}N}} \quad (41)$$

Donde:

Q es el factor de directividad de la fuente la cual es igual a uno si la fuente es omnidireccional y para un orador es igual a 2,5

V es el volumen del recinto [m³]

⁹ Ibid.

Me es el modificador electrónico.

Rt 60 es el tiempo de reverberación del recinto.

N es el poder acústico total radiado por el sistema dividido por el poder acústico radiado por el dispositivo.

Ma es el modificador arquitectónico el cual es calculado por medio de:

$$M_a = \left(\frac{1 - \bar{\alpha}}{1 - \alpha_c} \right) \left(\frac{Q_{TEORICO}}{Q_{ACT}} \right) \quad (42)$$

Luego:

$\bar{\alpha}$ Es el coeficiente de absorción promedio del recinto.

α_c Es el coeficiente de Absorción de la superficie donde ocurre la primera reflexión.

Q Teórico es el factor de directividad teórico de la fuente.

Q Actual es el factor de directividad medido de la fuente.

A continuación se calculan los niveles en cada campo sonoro según la ecuación de Hopkins- Stryker seguido de sus derivados, para esto tenemos la ecuación básica dada por:

$$L_T = L_w + 10 \text{Log} \left(\frac{QM_e}{4\pi(D_x)^2} + \frac{4N}{S\bar{\alpha}M_a} \right) + K \quad (43)$$

Donde:

Lw Es el nivel de poder sonora de la fuente.

Dx la distancia de la fuente donde si Q es igual a 1, Dx es igual a 0,282 m.

$S\bar{\alpha}$ Es el producto de área total del recinto por el coeficiente de absorción promedio del mismo.

K es una constante igual a 0,2.

De lo anterior se derivan las ecuaciones para campo directo Ld y campo reverberante Lr las cuales son respectivamente:

$$L_D = L_w + 10 \text{Log} \left(\frac{QM_e}{4\pi(D_x)^2} \right) + K \quad (44)$$

$$L_R = L_w + 10 \text{Log} \left(\frac{4N}{S\bar{\alpha}M_a} \right) + K \quad (45)$$

A continuación se deduce el nivel sonoro actual el cual ocurre en el campo semireverberante el cual se da por:

$$L_{ACT} = L_w + 10 \text{Log} \left(\frac{Q}{4\pi(D_c)^2} \right) + \left(1.329 \left(\frac{\sqrt{V}}{hRt60} \right) \left(\text{Log} \frac{D_c}{D_x > D_c} \right) \right) + K \quad (46)$$

Nota: $S\bar{\alpha}$ también puede ser calculado por medio de la siguiente expresión:

$$S\bar{\alpha} = \frac{(D_c)^2 N}{0,019881 Q M_a M_e} \quad (47)$$

Una característica del campo directo es que es bastante direccional, mientras que el campo reverberante es difuso, es decir adireccional. Por esta razón, en un teatro, cerca del escenario se percibe claramente la procedencia de los sonidos, pero más lejos no tanto (aunque por efecto Haas, el sonido directo, que llega siempre primero, permite percibir la dirección del sonido aún con un importante campo reverberante).

El campo reverberante permite explicar por qué dentro de una habitación los sonidos se perciben con mayor sonoridad que en un ámbito abierto. En éste último sólo existe el campo directo. En una habitación el sonido se ve reforzado por el campo reverberante, que acumula la energía sonora que no es absorbida en las reflexiones. En el campo libre, al no haber reflexiones, la energía sonora simplemente se aleja continuamente de la fuente, sin posibilidad de acumularse, por eso el campo reverberante será tanto mayor cuanto más reflectoras del sonido sean las superficies de un ambiente (o, lo que es lo mismo, cuanto menor sea el coeficiente de absorción), ya que en ese caso será mayor la energía acumulada. Como también el tiempo de reverberación aumenta cuando aumenta la reflexión, resulta que a mayor tiempo de reverberación, mayor campo reverberante. Esto explica por qué en los ambientes con paredes duras, como los gimnasios, la igualdad de la fuente el nivel sonoro es tan alto. A esto se agrega el hecho de que el campo reverberante tiende a enmascarar el habla, por lo que la gente inconscientemente sube la voz para aumentar el campo directo, y poder comunicarse por lo menos con las personas más próximas. Esto a su vez incrementa el campo reverberante, pues significa más energía sonora para acumular en el ambiente.

“El conocer la situación de los campos es muy útil por ejemplo para:

Posicionamiento de micrófonos: La distancia a la fuente regula la relación campo directo / campo reflejado.

Ubicación de la audiencia: Las primeras filas de la audiencia en un Auditorio, Teatro o Sala deben colocarse aproximadamente en la DC de manera tal que el nivel sonoro del resto de los asientos sea el mismo hasta el fondo del recinto.

S/N de una Sala: para un programa sonoro cualquiera, el nivel sonoro del campo reverberante es el equivalente al ruido con el que el sonido directo deberá coexistir.”¹⁰

4.1.6 Inteligibilidad. El lenguaje humano requiere el uso de un sistema de comunicación que permita un intercambio de información confiable y sin distorsiones entre individuos y grupos. Un sistema de comunicación está formado por elementos que interactúan entre sí: emisor, mensaje, código, canal, contexto y receptor. En el caso que nos ocupa el emisor es el hablante; el mensaje es la idea a transmitir; el código son las emisiones acústicas correspondientes a la lengua hablada; el canal es el medio por el que se transmite el código (el aire, una línea telefónica); el contexto es una serie de elementos subjetivos u objetivos que afectan al proceso de comunicación, por ejemplo la atención, el interés, las distorsiones y el ruido; y el receptor es el oyente.

El índice de inteligibilidad nos permite ver el porcentaje de palabras entendidas correctamente por una persona con oído normal dictadas en una sala con acústica ideal, por un locutor con un nivel de voz ideal y una pronunciación correcta. Para hallar la inteligibilidad esta el método RASTI, sti, Alcons.

“Aparte del perjuicio que representa para la inteligibilidad de la palabra la existencia de eco o de eco flotante en una sala, la comprensión de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus consonantes.”¹¹

Características acústicas de la emisión vocal. Los sonidos emitidos pueden ser sonoros o sordos. Los sonoros corresponden a las vocales y a algunas consonantes (n, m, b, g, entre otras) y se caracterizan por una altura musical. Los sordos son de tipo oclusivo o explosivo (p, t, k), en los que se libera repentinamente una sobre-presión, o fricativo (s, f, j), en los que el aire fricciona al atravesar el espacio restringido entre dos elementos articulatorios estos no producen sensación tonal.

Todos los sonidos pueden ser analizados espectralmente. Así como el espectro luminoso indica los colores puros contenidos en la luz, el espectro sonoro especifica los tonos puros que contienen un sonido o ruido. Cada tono puro corresponde a una única frecuencia. Esto es significativo ya que lo primero que realiza el oído al percibir un sonido es efectuar un análisis de espectro es por esto

¹⁰ BIDONDO, Alejandro, “Acústica Arquitectónica: Campos Sonoros. El Tiempo de Reverberación.” Pdf www.ingenieriadesonido.com. p. 3

¹¹ CARRION, Antoni., “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”. Edicions UPC, S.L. México: Alfaomega, 2001. p. 67

que se considera que la audición es un sentido analítico y está, entonces, fuertemente condicionada por el contenido espectral.

El espectro de los fonemas sonoros contiene una frecuencia fundamental y algunas frecuencias múltiplos, también denominadas armónicos. Así, por ejemplo, podemos tener un sonido que contiene 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, etc. Este sonido evoca una altura igual a la de un tono puro de 100 Hz; es decir, los armónicos se funden en el sonido fundamental, produciendo un timbre más lleno y distintivo pero sin cambiar su altura.

Los fonemas sordos, en cambio, contienen una gran cantidad de tonos puros superpuestos que se interfieren entre sí dando una sensación neutra, sin altura definida. En este sentido se emparentan con ruidos como el ruido blanco, que posee todos los tonos audibles en igual proporción (el nombre surge por analogía con la luz blanca, que contiene todos los colores en igual proporción). Un ejemplo de ruido blanco es el producido por un televisor cuando cesa la transmisión.

Otra característica importante para la inteligibilidad es la energía acústica. Así, las consonantes sordas tienen en general menos energía que las consonantes sonoras y las vocales. En contraste, confieren mayor cantidad de información, ya que si en un texto se pierden las vocales es relativamente simple reconstruirlas, lo cual no ocurre si se pierden las consonantes.

Hay tres tipos de índices: el índice de articulación silábico, en el que se hace escuchar al sujeto cierta cantidad de sílabas sueltas sin sentido, el índice de articulación de palabras, para el cual se utilizan palabras en general de dos sílabas, y el índice de articulación de frases, que utiliza frases completas.

“A principios de la década de los años 70, el investigador holandés V.M.A Peutz llevó a cabo un exhaustivo trabajo...El trabajo se dividió en dos partes perfectamente diferenciadas: la primera consistió en realizar una serie de pruebas de audiencia en diferentes recintos basadas en la emisión de un conjunto preestablecido de “logátomos” (palabras sin significado formadas por: consonantes-vocal-consonante). Cada individuo receptor tomada nota de lo que escuchaba y, posteriormente se procesaba toda la información recogida y se establecía una estadística de los resultados obtenidos.”¹²

En todos los casos las emisiones son fonéticamente balanceadas, es decir, los fonemas aparecen en la misma proporción que en el habla normal.

¹² CARRION, Antoni., “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”. Edicions UPC, S.L. México: Alfaomega, 2001. p. 42

Método de Knudsen. El método de Knudsen consiste en calcular la inteligibilidad de la palabra por medio de factores de reducción que dependen de la presión sonora, el RT60, el ruido ambiental y la estructura del recinto a estudiar. Estos factores se denominan kl, kr, kn y ks .

El factor de reducción kl depende de la presión sonora y se obtiene por medio de la siguiente figura.

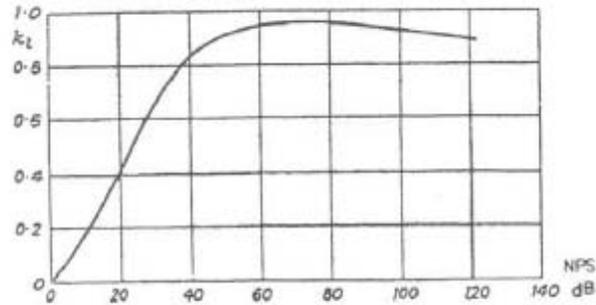


Figura 17: factor de reducción kl .

NPS es el nivel de presión sonora del locutor dada por:

$$SPL_{LOCUTOR} = 120 + 10 \log(W_{voz}) + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{R}\right) \quad (48)$$

Donde:

Q es el factor de directividad considerado para este caso igual a 1.

d es la distancia de la fuente.

R es la constante de la sala.

La potencia acústica de la voz depende del volumen del recinto y se define según la figura 18:

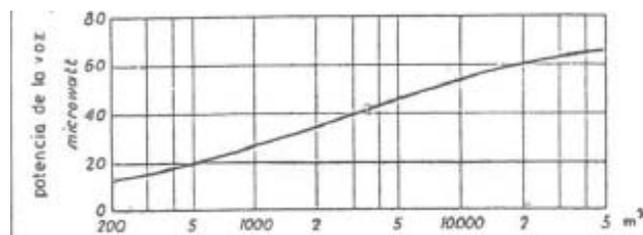


Figura 18: Factor de reducción kr

El factor de reducción kr depende del tiempo de reverberación y se estima por medio del siguiente gráfico:

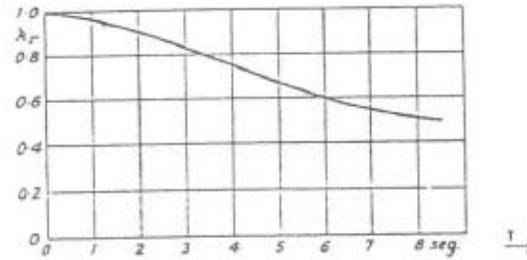


Figura 19: Factor de reducción kr vs. *Tiempo de reverberación*.

Kn es el factor de reducción según el ruido ambiental y se halla por medio de la relación entre el nivel de presión sonora del ambiente y el nivel de presión sonora del locutor. Al obtener la relación de las dos presiones se ubica el valor en la siguiente gráfica obteniendo así el valor de kn .

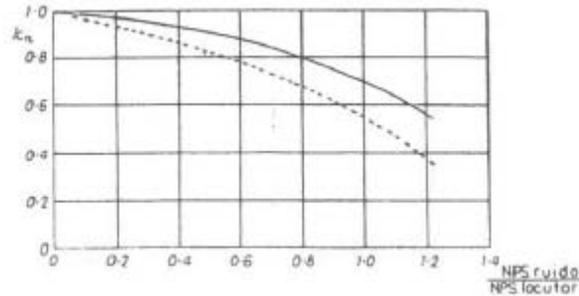


Figura 20: Factor de reducción kn .

La línea continua son los valores de kn cuando el locutor le molesta el ruido ambiente y los valores de la línea discontinua son cuando el público se ve afectado por el ruido.

El valor del factor de reducción que dependen de la estructura del recinto (ks) se determina según las siguientes condiciones:

- Para recintos pequeños ks es igual a 1.
- Para recintos medianos y grandes con formas irregulares ks se puede estimar entre 0,9 y 0,95.
- Si detrás del locutor hay superficies reflectantes ks puede ser un poco mayor a 1.

Definido los valores para cada factor de corrección se calcula el Índice de articulación con la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de Articulación} = K_i K_r K_n K_s. (49)$$

Luego se ubica el valor en la siguiente gráfica

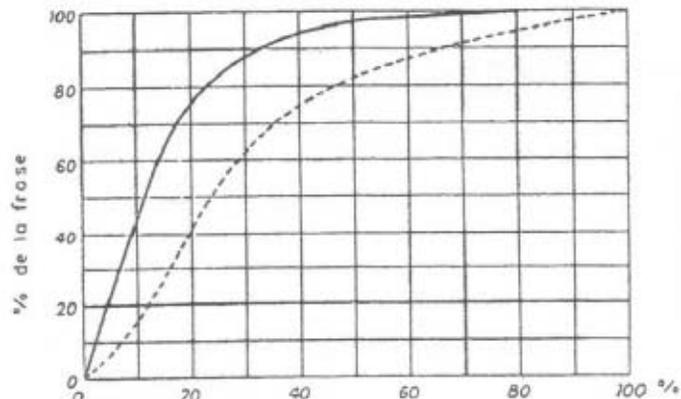


Figura 21: Índice de articulación.

Los valores de la línea continua corresponde cuando el oyente requiere estar muy concentrado para captar el mensaje, mientras que la línea punteada son valores correspondientes a oyentes que no requieren esforzarse para escuchar claramente.

Según los resultados se clasifica la inteligibilidad de la palabra según los siguientes parámetro:

- Índice de articulación > 80% : Excelente inteligibilidad,
- Índice de articulación = 75% : Buena inteligibilidad, aunque se requiere de la concentración del público y esto puede ocasionar fatiga.
- Índice de articulación = 65% : Insuficiente inteligibilidad. Se requiere del auditorio una enorme concentración para captar el mensaje del expositor.

4.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO.

2.2.1 Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006. Se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental para todo el territorio nacional. La resolución describe los estándares máximos permisibles en materia de ruido emitido por fuentes como industrias, talleres, zonas portuarias y espectáculos públicos, entre otros. Se emplea esta resolución por su vigencia en nuestro país y describe la metodología para medir el ruido que afecta a el centro educativo y así reconocer las fuentes principales de ruido con sus niveles de presión sonora.

Antes de iniciar las mediciones se define los puntos de medición realizando una evaluación previa del ruido con un barrido rápido de la emisión de ruido emitido. Para esto la ubicación debe ser 1,5mt de la fachada con el fin de definir los niveles sonoros mas altos los cuales comúnmente coinciden cerca a las puertas y ventanas del establecimiento.

Para determinar los puntos de medición es necesario definir el objetivo de la medición, analizar el área a estudiar y fijar las áreas a medir. Luego se forma una grilla en las áreas correspondientes, a su vez se define la ubicación y el horario para las mediciones teniendo en cuenta la distancia máxima entre ubicaciones y los horarios y días en que se va a ejecutar la toma de niveles. También se define si las mediciones serán en el transcurso de una hora o con intervalos de tiempo.

Para óptimos resultados es necesario que el tiempo sea seco, sin lluvias, llovizna, truenos o granizo, el pavimento debe estar seco y la velocidad del viento no debe ser mayor a 3m/s.

El equipo de medición debe tener la capacidad de medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación A, este debe ser de Tipo 1 o mínimo Tipo 2, en el caso de ser un sonómetro integrador promediador este debe ser clase P. Antes de iniciar las mediciones es necesario que el equipo este calibrado según las condiciones actuales del lugar a medir, para esto se requiere de un pistófono. El micrófono debe estar a una altura definida con protección antiviento.

En el informe se especifica el filtro de ponderación frecuencial (A, C, D u otro) y el filtro de ponderación temporal (fast, slow o Impulse) que se usara. La presión sonora de referencia para mediciones y cálculos es de $20\mu\text{Pa}$.

Los parámetros principales para mediciones de ruido son:

- Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$ y ponderado lento (S).
- Ruido Residual, medido como nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T, Residual}$
- Nivel percentil L_{90} .

Cuando no es posible medir el ruido residual se toma los valores del nivel percentil L_{90} y se especifica en el informe porque no fue posible medir el ruido residual.

Los estándares máximos permisibles de emisión de ruido y de ruido ambiental están expresados en ponderación A. (Ver anexo B tabla 1 y 2). El nivel de ruido para alarmas de seguridad en edificaciones no deben sobrepasar los 85 dBA y se mide a 3mts de distancia dirigido en la dirección de la máxima emisión.

Los niveles sonoros continuos equivalentes en ponderación A y el nivel percentil L_{90} deben corregirse por impulso, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipo de fuente y receptores según sea el caso.

Estas correcciones en decibeles se dan por la siguiente ecuación:

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_R, K_S) \quad (50)$$

Donde:

K_I es un ajuste por impulsos (dB(A)).

K_T es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A)).

K_R es un ajuste por la hora del día (dB(A)).

K_S es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo bajas frecuencias (dB(A)).

(X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el artículo 4 de esta resolución.

El valor de estas correcciones depende del Anexo 2 de la Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006.

4.2.2 ISO 3382. Método para la medición de Tiempo de Reverberación.

La medición de tiempo de reverberación se puede realizar con el establecimiento desocupado, semi-lleño o lleño o todos. La fuente acústica debe ser lo mas omnidireccional posible con un nivel de presión suficiente para generar la curva de caída. Para mediciones que no se requiera de la técnica de promedios sincronizados el nivel de la fuente debe ser de al menos 45dB superiores al ruido de fondo, en el caso de medir T_{20} el nivel debe estar 35 dB por encima del nivel de fondo.

Los micrófonos que se usaran para la captura deben ser de patrón omnidireccional y el diafragma debe tener de diámetro entre 13mm hasta 26mm. En el caso de ser un sonómetro este debe ser de clase 1 con filtros de bandas normalizadas de octava y tercios de octavas.

El número de posiciones de medida se elige de forma que se alcance una cobertura apropiada del recinto. Las posiciones de micrófono deben estar al menos separadas por una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, es decir, una distancia mínima de unos 2m para el intervalo de frecuencias habitual. La distancia entre cualquier posición de micrófono y la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo debe ser de al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, normalmente 1m.

Ninguna posición de micrófono debe estar demasiado cerca de cualquier posición de fuente para evitar una influencia demasiado grande del sonido directo. La distancia mínima d_{min} , en metros puede ser calculada a partir de:

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (51)$$

Donde:

V es el volumen, en metros cúbicos.

c es la velocidad del sonido, en metros por segundo.

T es una estimación del tiempo de reverberación esperado, en segundos.

En esta norma se describen dos métodos de medida del tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor esperado pero el último requiere una instrumentación más sofisticada.

Método del ruido interrumpido. Se debe utilizar como fuente un altavoz, y la alimentación del altavoz debe provenir de una señal aleatoria de banda ancha o ruido eléctrico pseudoaleatorio. Cuando se emplea un ruido pseudoaleatorio, éste debe cortarse de forma aleatoria sin seguir ninguna secuencia de repetición.

Para las mediciones en bandas de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a una octava y para mediciones en bandas de tercio de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava que haya de medirse.

La duración de la excitación del recinto ha de ser suficiente para que el campo acústico alcance el estado estacionario antes de que se corte, y por tanto es esencial que el ruido sea emitido durante un tiempo mínimo de $T/2$ s. En salas de gran volumen, la duración de la excitación debe ser de al menos unos pocos segundos.

Método de la respuesta impulsiva integrada. La respuesta impulsiva entre una posición de fuente y una posición de receptor en un recinto es una magnitud bien definida que puede medirse mediante gran variedad de formas (por ejemplo utilizando como señales disparos de pistola, impulsos de chispas eléctricas, trenes de ruido, barridos en frecuencia con tonos puros o m-secuencias). El propósito de esta norma no es excluir ningún otro método del que se pueda obtener una respuesta impulsiva correcta.

La respuesta impulsiva se puede medir directamente utilizando una fuente impulsiva tal como un disparo de pistola o cualquier otra fuente que, sin ser reverberante en si misma, tenga un espectro suficientemente ancho para cumplir con los requisitos

La fuente de impulsos debe poder producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para asegurar que la curva de caída empiece al menos 45 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si sólo se ha de medir el T_{20} es suficiente tener un nivel de 35 dB superior al ruido de fondo.

4.2.3 ISO 140-4. Acústica - Medición del aislamiento acústico en los edificios y de elementos de construcción - Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales.

El método para medir el aislamiento acústico que existe entre un recinto emisor y otro receptor generalmente en el recinto emisor se coloca una fuente de ruido, se mide el nivel de presión sonora en dicho recinto así como en el receptor, y se restan ambos niveles, así se obtiene el valor de un aislamiento en bruto.

La fuente en el recinto debe emitir ruido rosa, con una potencia tal que el nivel en la sala receptora esté 15 dB por encima del ruido de fondo en todas las bandas. La fuente debe ser situada de manera que provoque un campo lo más difuso posible y a una distancia de la partición tal que la radiación directa sobre ella no sea la dominante. Se coloca el micrófono o sonómetro en varias posiciones y se promedian las medidas recogidas en cada una.

Es necesario medir el ruido de fondo existente en la sala receptora, para asegurarse de que el nivel recogido en dicha sala no se ve afectado por ruidos ajenos al procedente de la sala emisora. El ruido de fondo debe ser al menos 6 dB y preferiblemente 15 dB inferior al nivel sonoro recogido en la sala receptora, que combinará señal y ruido de fondo.

Las distancias entre las posiciones de medida y los contornos (local o fachada) deberán ser superiores a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más baja que se desee medir, en el caso en que sea posible. A menudo en construcciones antiguas el ancho de la calle no permite mantener esta distancia.

Una vez obtenido el nivel en el interior del recinto emisor, L_1 y el nivel en el recinto receptor, L_2 , se calculará la diferencia normalizada. El valor aproximado del nivel radiado por el local se puede estimar simplemente calculando:

$$D = L_1 - L_2 \quad (52)$$

Donde:

L_2 es el nivel del recinto receptor. [dB]

L_1 es el nivel del recinto emisor.[dB]

D es la diferencia de niveles entre los dos recintos [dB].

4.2.4 IRAM 4070. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles NC y RC.

La norma IRAM 4070 permite clasificar el espectro de un ruido en único valor por medio de las curvas NC y RC determinando así los niveles sonoros ideales para cada actividad que se realice en diferentes lugares. Estos criterios se pueden usar para iniciar un proyecto o para calificar los niveles de ruido y verificar si están dentro de la normativa.

Para clasificar el ruido de fondo de un lugar existente se deben realizar mediciones por bandas de octavas normalizadas desde la frecuencia de 63 Hz hasta 8000Hz. Al obtener los valores se compara el gráfico del espectro del ruido con las curvas NC normalizadas. Según la ubicación del espectro dentro de las curvas se le asigna un valor NC dependiendo del mayor valor que hay entre las bandas.

NC	NIVELES DE PRESION SONORA EN BANDAS DE OCTAVAS (dB)							
	FRECUENCIAS CENTRALES (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	51	40	33	26	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	35	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

Tabla 2. Niveles de presión sonora NC.

4.2.5 ANSI- ASA S12.60-2009 Parte 2. Requerimientos y pautas para el diseño del criterio de ejecución acústica en salones de clase. Parte 2: Salones de clase reubicados.

Esta parte del documento de la norma ANSI-ASA S12.60 incluye diferentes factores importantes al momento de diseñar un espacios de tamaño pequeño y moderado teniendo en cuenta que es aplicable para salones de clase relocalizados y otros espacios modulares reubicados, entendiéndose también por estos espacios como aquellos que requieren de una modificación arquitectónica dentro de la instalación de la institución, aplicando en este caso al espacio a diseñar en el CED José Asunción Silva.

Dentro de la norma se especifica el criterio del desempeño acústico y requerimientos de diseño para salones de clase reubicados. El documento incluye un anexo, parte del documento que se aplicó en el proyecto. El anexo A, de

carácter informativo provee los comentarios relacionados a los niveles recomendados para paredes sencillas y compuestas, piso, techo y espacios auxiliares.

Esta norma tiene como objetivo principal obtener flexibilidad en el diseño sin comprometer la meta principal de adquirir una adecuada inteligibilidad de la palabra en estos espacios dentro de la mira de la norma, ofreciendo una mejor comprensión del contenido por parte de los estudiantes y una optimización del proceso de enseñanza para los profesores.

5. DESARROLLO INGENIERIL

5.1 LEVANTAMIENTO DE PLANOS

Se inicia con el levantamiento de planos de los salones que la institución dispuso para este proyecto, señalando los materiales que los componen. A continuación se ilustran los planos con sus respectivos materiales.

Salón 1.

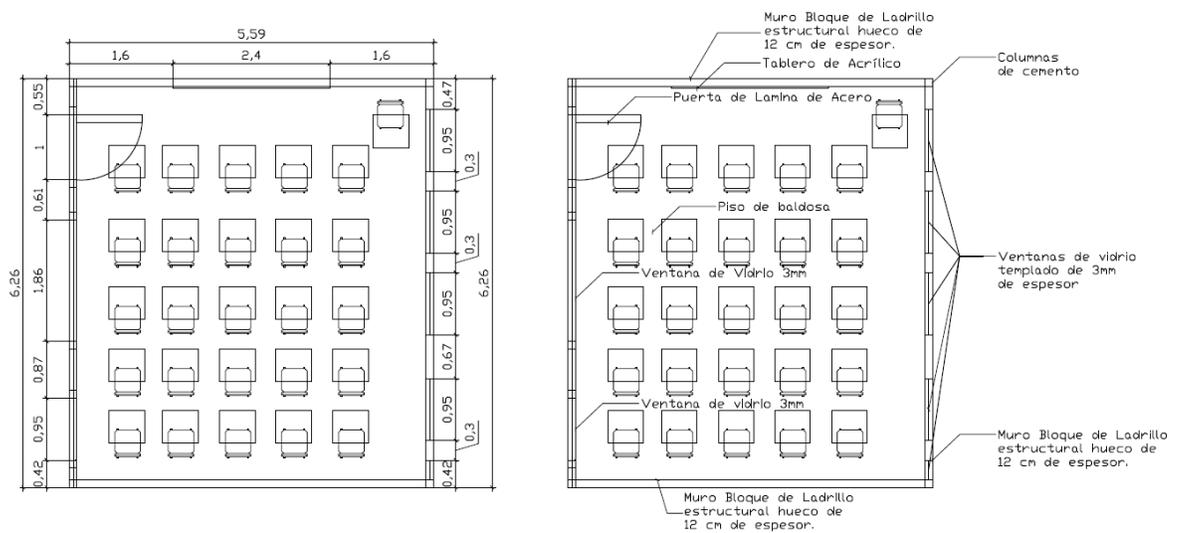


Figura 22. Dimensiones y materiales constructivos del Salón 1.

Salón 2.

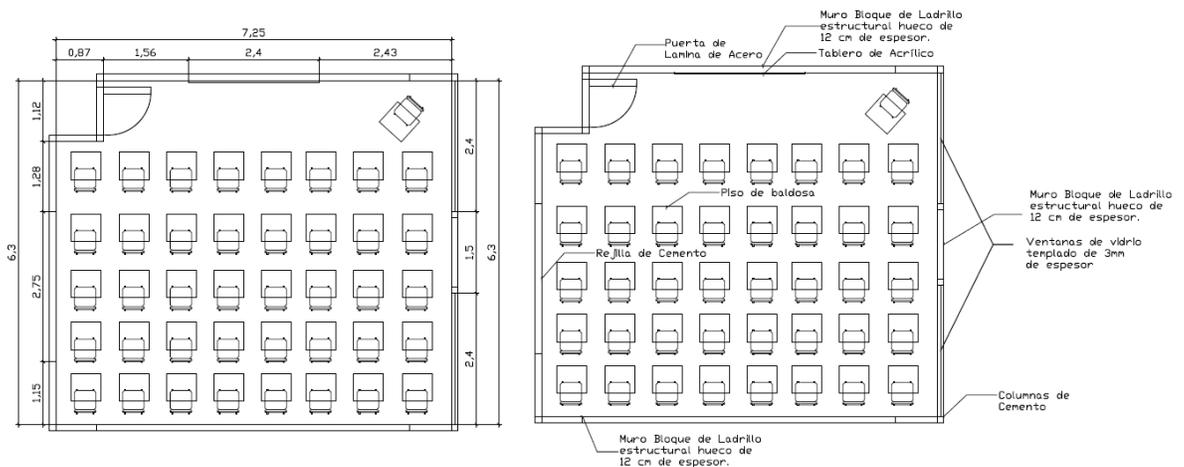


Figura 23. Dimensiones y materiales constructivos del Salón 2.

Salón 3.

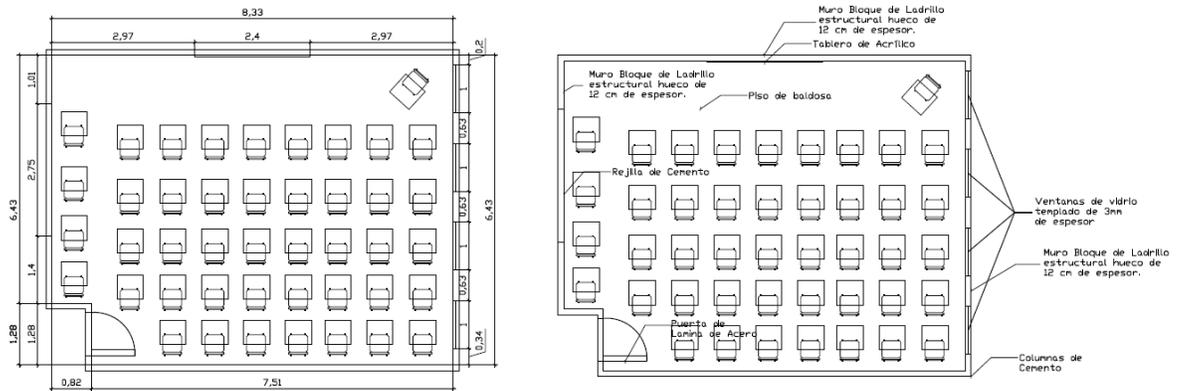


Figura 24. Dimensiones y materiales constructivos del Salón 3.

Con base a los planos de los salones se realiza un croquis del plantel general con el fin de identificar las zonas del plantel y planificar los puntos de medición. En la figura 25 se observa las diferentes zonas de las dos plantas que componen el colegio.

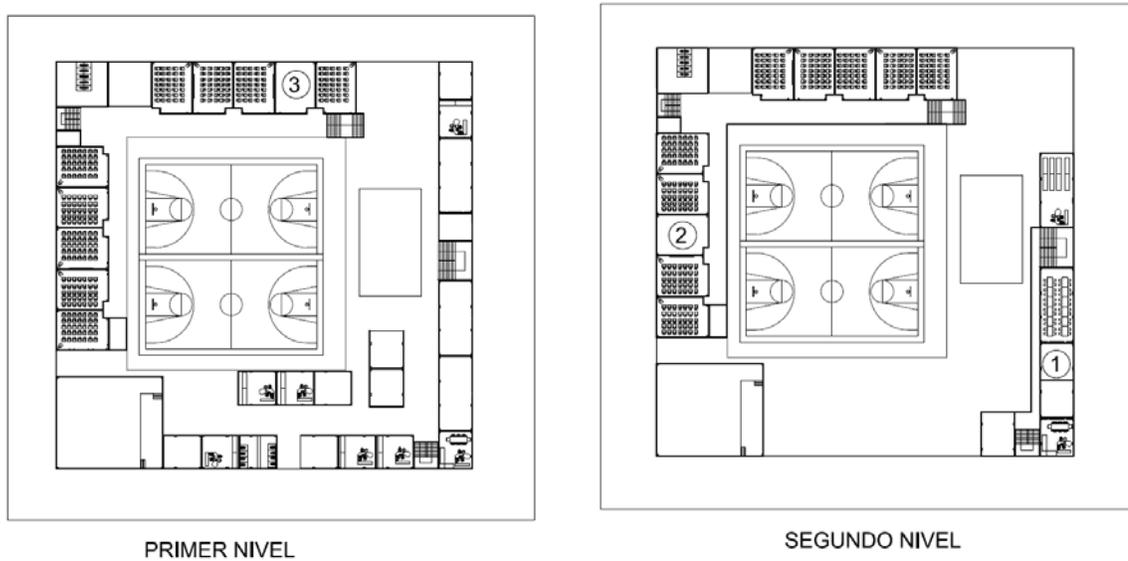


Figura 25. Croquis del plantel.

5.2 CÁLCULOS TEÓRICOS.

Antes de desarrollar las mediciones acústicas se realizaron los cálculos teóricos para cada salón de clases. En estos cálculos no se tienen en cuenta los pequeños espacios de luz que hay en las ventanas, la puerta y las tejas lo cual hace que varíen los valores del aislamiento y tiempo de reverberación. Cabe mencionar que estos pequeños haces de luz puede llegar a dañar hasta los aislamientos mas perfectos.

5.2.1 Aislamiento. A continuación se presentan los resultados de pérdida por transmisión de cada salón con sus respectivos muros compuestos y las gráficas correspondientes según el comportamiento que exponen los cálculos de aislamiento propuestos por Barron.

Salón 1. Su ubicación es al costado norte de la institución en el segundo nivel.

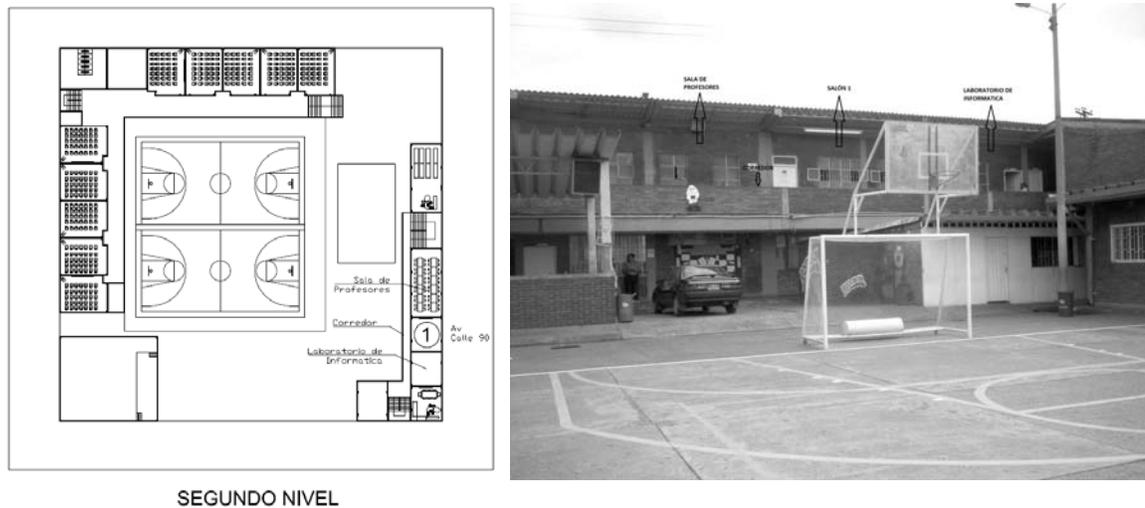


Figura 26. Ubicación salón 1.

Pared compuesta N° 1: Al otro lado de la pared se encuentra el corredor con vista al las canchas de juego.

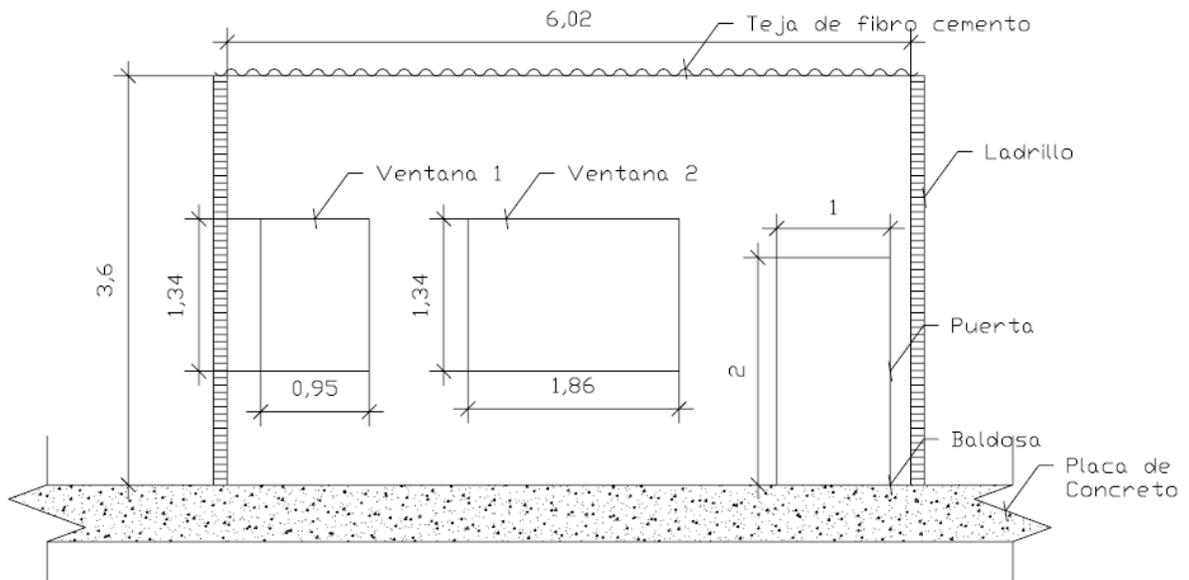


Figura 27. Materiales constructivos del Muro 1 Salón 1.

MATERIALES	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	ACERO	S Total
S [m ²]	15,91	1,27	2,49	2,00	21,67
Espesor [m]	0,12	0,003	0,003	0,03	
f(mn)[Hz]	21,7	24,7	12,5	4,7	
Fc [Hz]	142,5	1987,6	1987,6	7901	

PERDIDA DE TRANSMISION [dB]

FRECUENCIA [Hz]	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	ACERO	A total	TL total [dB]
31,5	29,2	6,4	6,4	-1,9	0,18	7,36
63	35,2	12,2	12,2	2,1	0,07	11,70
125	41,2	18,1	18,1	7,4	0,02	17,08
Fc Ladrillo	142,4	24,2	24,2	13,4	0,00	23,10
250	31,5	24,1	24,1	13,2	0,01	22,50
500	41,5	30,1	30,1	19,1	0,00	28,67
1000	51,5	36,1	36,1	25,2	0,00	34,86
Fc Vidrio	1987,6	61,4	42,1	36,1	0,00	44,69
2000	61,5	12,6	12,6	31,2	0,01	20,16
4000	71,5	22,6	22,6	37,2	0,00	30,11
Fc Acero	7901	81,3	32,41	32,41	48,1	39,95
8000	81,5	32,6	32,6	2,6	0,05	12,93
16000	91,5	42,6	42,6	12,6	0,01	22,93

Tabla 3. Pérdida por transmisión del muro1 salón 1.

Pared N° 2 y 4. En la siguiente figura se ilustra la pared N°2, la pared N°4 es igual a la N°2 con la diferencia que no tiene tablero acrílico. Se calcula el aislamiento para ambos muros con un aislamiento simple ya que ambos están conformados

por solo ladrillo y tienen las mismas dimensiones. La pared N°2 separa el salón de la sala de profesores mientras que al otro lado del muro N°4 se encuentra el laboratorio de informática.

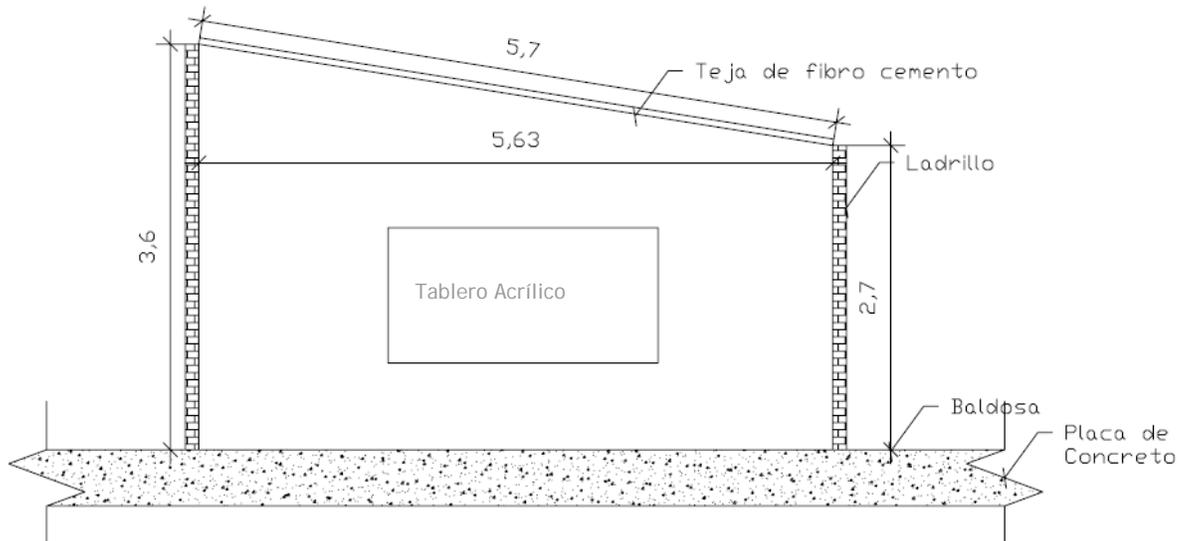


Figura 28. Materiales constructivos del Muro 2 Salón 1.

MATERIALES	LADRILLO	
S [m ²]	17,73	
Espesor [m]	0,12	
f(mn)[Hz]	26,4	
Fc [Hz]	142	

	27,4	33
Fmn	31,5	29,2
	63	35,2
	125	41,2
	142	47
Fc	250	31,51
	500	41,51
	1000	51,51
	2000	61,51
	4000	71,51
	8000	81,51
	16000	91,51

Tabla 4. Perdida por transmisión del muro 2 salón 2.

Pared compuesta N° 3: El otro lado de esta pared da a la calle 90 junto con la plaza de mercado del barrio Quirigua.

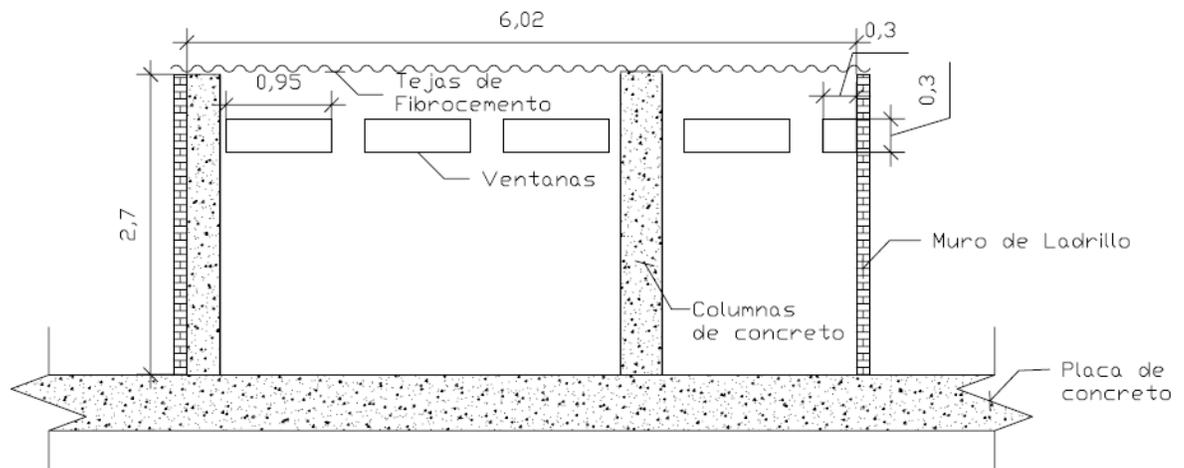


Figura 29. Materiales constructivos del Muro 3 Salón 1.

MATERIALES	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	S Total
S [m ²]	15,02	0,29	0,09	16,25
Espesor [m]	0,12	0,003	0,003	
f(mn)[Hz]	34,1	181,2	329,5	
Fc [Hz]	142,4	1987,6	1987,6	

PERDIDA DE TRANSMISION

	FRECUENCIA [Hz]	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	A total	TL total [dB]
F(mn) Ladrillo	31,5	39,3	45,1	55,5	0,000	39,51
	34,1	38,6	44,41	54,80	0,000	38,82
	63	35,2	39,1	49,5	0,000	35,41
Fc Ladrillo	125	41,2	33,1	43,5	0,000	39,81
	142,4	47,3	32,0	42,4	0,000	42,09
F(mn) Vidrio # 1	181,2	26,9	29,9	40,3	0,002	27,05
	250	31,5	24,1	37,5	0,001	30,33
F(mn) Vidrio # 2	329,5	35,5	26,5	35,1	0,000	33,78
	500	41,5	30,1	30,1	0,000	38,56
Fc Vidrio # 1 y 2	1000	51,5	36,1	36,1	0,000	46,00
	1987,6	61,4	47,1	47,1	0,000	56,69
	2000	61,5	12,6	12,6	0,004	23,80
	4000	71,5	22,6	22,6	0,000	33,80
	8000	81,5	32,6	32,6	0,000	43,80
	16000	91,5	42,6	42,6	0,000	53,80

Tabla 5. Perdida de transmisión del muro 3 salón 1.

Techo y piso: Por estar en la segunda planta el salón se encuentra encima de otro laboratorio de informática y no hay ninguna otra área encima de él.

MATERIALES	CONCRETO	FIBROCEMENTO
S [m ²]	33,89	33,89
Espesor [m]	0,5	0,06
f(mn)[Hz]	39,7	7,3
Fc [Hz]	43,9	238,2

FRECUENCIAS [Hz]	TL PISO [dB]	TL TECHO [dB]
31,5	56,8	25,6
63	34,53	28,7
125	44	34,7
250	54,41	17,27
500	64,41	27,27
1000	74,41	37,27
2000	84,41	47,27
4000	94,41	57,27
8000	104,41	67,27
16000	114,41	87,27

Tabla 6. Perdida de transmisión de techo y piso salón 1.

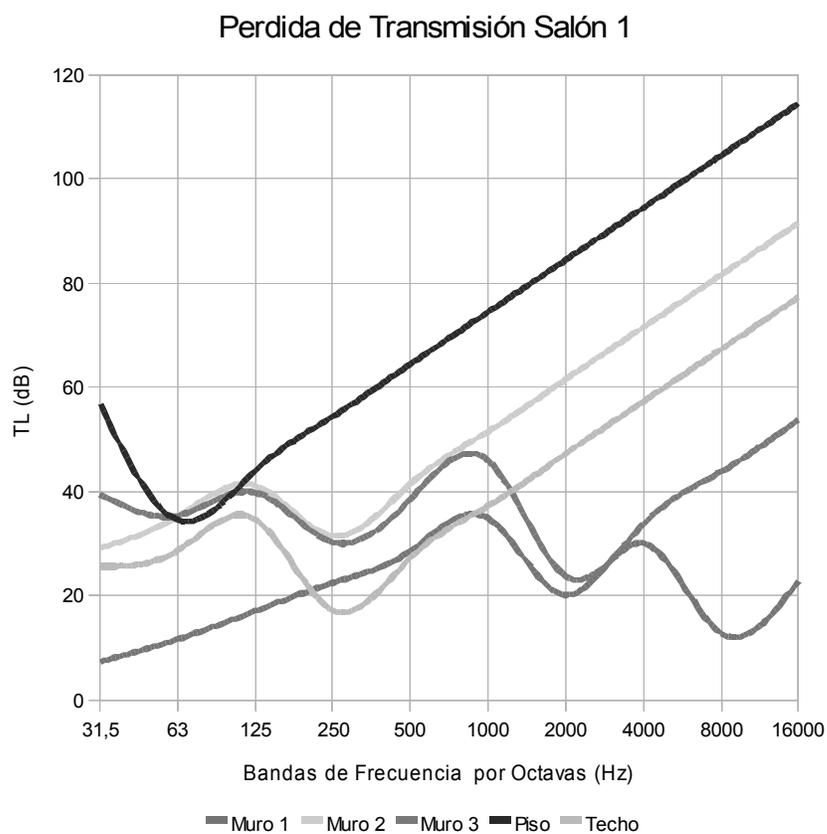


Figura 30. Perdida de transmisión del salón 1.

Como se observa, el aislamiento del muro 1 decae entre las bandas de 1000Hz y 8000Hz lo cual esta dentro del rango armónico de la voz humana teniendo en cuenta que el género masculino contiene frecuencias bajas y el género femenino frecuencias altas.

Al trabajar con muros compuestos es posible que se presenten diferentes frecuencia críticas en el sistema por el valor superficial significativo de cada material, modificando el valor total de aislamiento; es decir que al estudiar un muro que presenta un excelente aislamiento pero al incluir una ventana de pobre aislamiento con un valor de superficie importante, el aislamiento del sistema compuesto se disminuye, desaprovechando el aislamiento del muro. Esto demuestra porque se presentan diferentes caídas de aislamiento en diferentes frecuencias.

Finalmente si se analizan las frecuencias críticas de los materiales se observa que estas se imprimen sobre el valor del sistema compuesto. En cuanto al comportamiento de las frecuencias de resonancia, no se exponen luego que para todos los materiales se encuentra por debajo de la octava de 31,5dB y respecto a la zona de Masa se obtiene comportamiento de ley de masas, cumpliendo la linealidad que se presenta generalmente en esta zona.

En este caso se observa que las paredes tiene un buen comportamiento sin tener en cuenta que los muros pueden tener haces de luz lo cual como se mencionó anteriormente cualquier fuga o hueco pequeño que se encuentre en la pared este puede hacer decaer el aislamiento del mismo.

En la Pared N°3 como se observa tiende a tener el mismo comportamiento del primer muro decayendo en el rango de la voz humana y además se confirma que por mas pequeña que sea el área de una venta o hueco el aislamiento decae notablemente.

Salón 2. Este salón esta ubicado en la parte sur del colegio en el segundo nivel como se ve en la figura 30.



Figura 31. Ubicación Salón 2.

Pared compuesta N° 1: Adyacente a esta pared se encuentra el corredor que da vista a las canchas de juego dentro de la institución. Para los cálculos se considera la mitad de la rejilla de cemento como una ventana abierta y la otra mitad como pared.

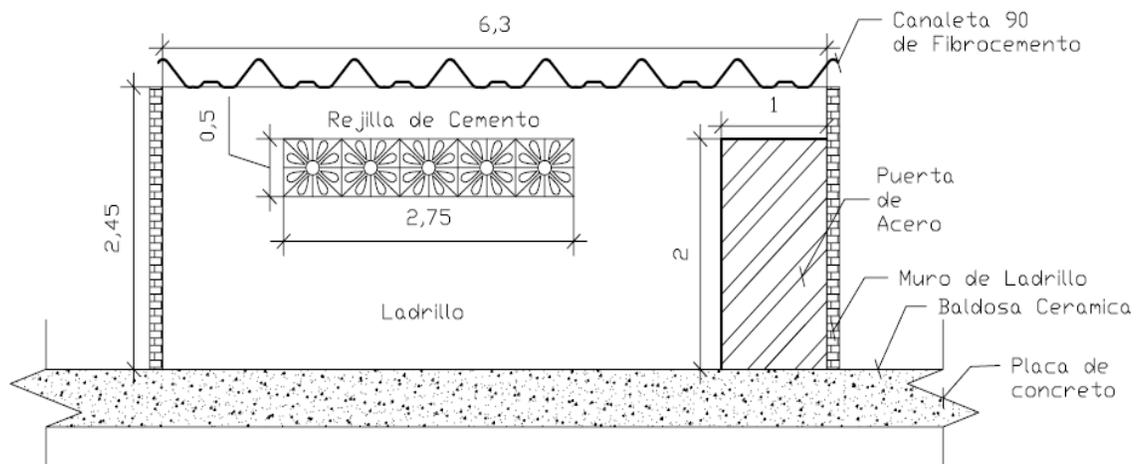


Figura 32. Materiales constructivos del Muro 1 Salón 2.

MATERIALES	LADRILLO	REJILLA	PUERTA	S Total
S [m ²]	12,06	1,38	2,00	15,44
Espesor [m]	0,12	0,12	0,03	
f(mn)[Hz]	39,7	61,3	4,6	
Fc [Hz]	142,4	1987,6	8006,3	

PERDIDA DE TRANSMICIÓN [dB]

	FRECUENCIA	LADRILLO	REJILLA	PUERTA	A total	TL total [dB]
	31,5	41,9	26,3	-2,0	0,21	6,87
F(mn) Ladrillo	39,7	39,9	24,3	4,1	0,05	12,94
F(mn) Regilla	61,3	40	20,5	6,8	0,03	15,54
	63	35,2	12,2	2,0	0,09	10,59
	125	41,2	18,1	7,2	0,03	15,83
Fc Ladrillo	142,4	47,3	24,2	13,3	0,01	21,93
	250	31,5	24,1	13,1	0,01	21,40
	500	41,5	30,1	19,0	0,00	27,51
	1000	51,5	36,1	25,0	0,00	33,59
Fc Regilla	1987,6	61,4	47,1	36,0	0,00	44,58
	2000	61,5	12,6	31,1	0,01	23,00
	4000	71,5	22,6	37,1	0,00	32,87
	8000	81,5	32,6	43,1	0,00	42,56
Fc Puerta	8006,3	81,5	32,6	48,1	0,00	42,93
	16000	91,5	42,6	12,4	0,01	21,26

Tabla 7. Perdida de transmisión del muro 1 salón 2.

Pared compuesta N° 2 y 4: Igual que en el salon anterior las paredes 2 y 4 son similares por lo cual solo se ilustra la N°2. Junto a estas dos paredes se encuentran otros salones con las mismas características. Es importante mencionar que es muy notable en estos salones los haces de luces que hay entre ellos dejándolos comunicados unos con otros y disminuyendo notablemente el aislamiento.

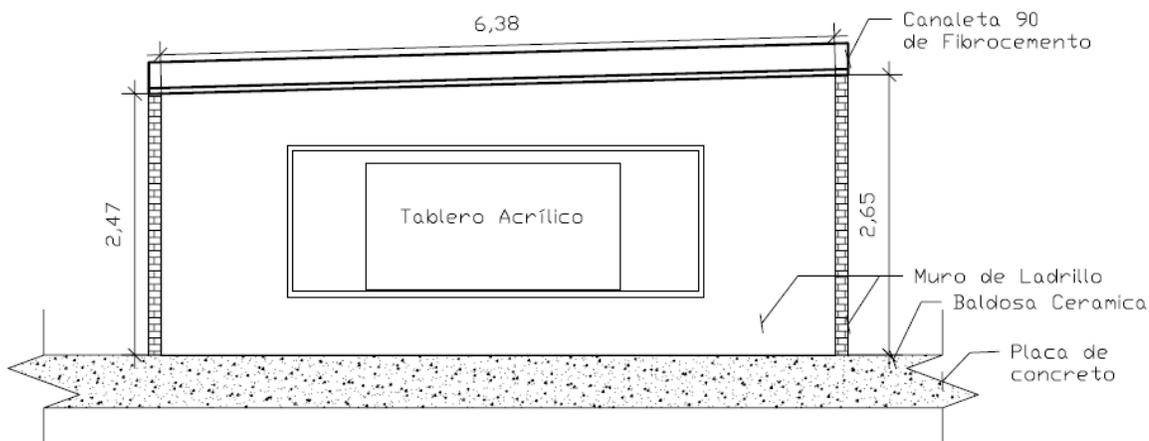


Figura 33. Materiales constructivos del Muro 2 Salón 2.

MATERIALES	LADRILLO
S [m ²]	18,49
Espesor [m]	0,12
f(mn)[Hz]	35,8
Fc [Hz]	142,4

FRECUENCIAS [hz]	TL PARED [dB]
35,8	39
63	35,2
142	47
250	31,51
500	41,51
1000	51,51
2000	61,51
4000	71,51
8000	81,51
16000	91,51

Tabla 8. Perdida de transmisión del muro 2 salón 2.

Pared compuesta N° 3: El otro lado de este muro se encuentra el parque exterior de la institución rodeado de viviendas.

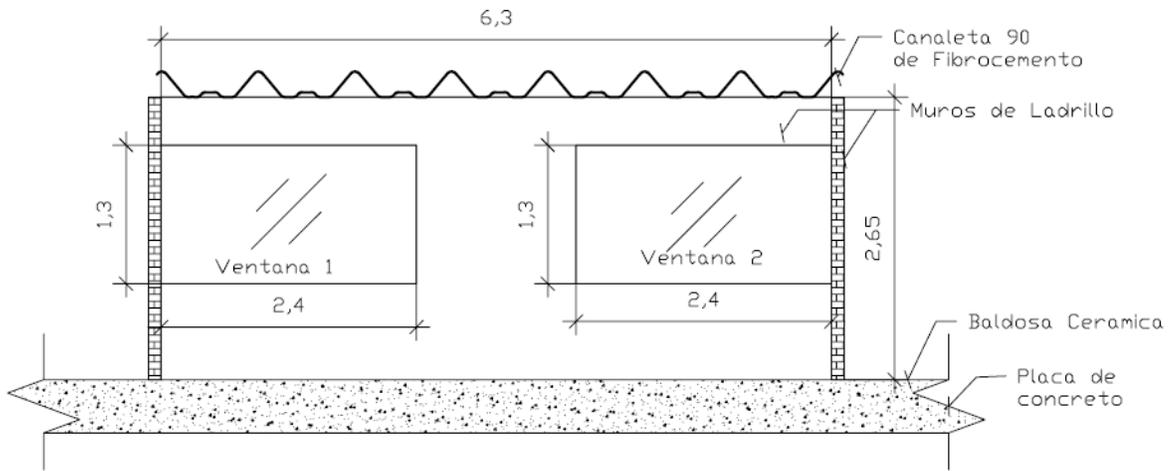


Figura 34. Materiales constructivos del Muro 3 Salón 2.

MATERIALES	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	S Total
S [m ²]	1,10	3,12	3,12	6,24
Espesor [m]	0,12	0,003	0,003	
f(mn)[Hz]	34,7	11,3	11,3	
Fc [Hz]	142,4	1987,6	1987,6	

PERDIDA DE TRANSMICIÓN

FRECUENCIA	LADRILLO	VIDRIO # 1	VIDRIO # 2	A total	TL total	
F(mn) Ladrillo	31,5	39,3	6,4	6,4	0,57	2,42
	34,7	38,6	12,20	12,20	0,15	8,22
	63	35,2	12,2	12,2	0,15	8,22
Fc Ladrillo	125	41,2	18,1	18,1	0,04	14,12
	142,4	47,3	24,2	24,2	0,01	20,22
	250	31,5	24,1	24,1	0,01	20,07
Fc Vidrio	500	41,5	30,1	30,1	0,00	26,10
	1000	51,5	36,1	36,1	0,00	32,11
	1987,6	61,4	47,1	47,1	0,00	43,11
	2000	61,5	12,6	12,6	0,14	8,61
	4000	71,5	22,6	22,6	0,01	18,61
8000	81,5	32,6	32,6	0,00	28,61	
16000	91,5	42,6	42,6	0,00	38,61	

Tabla 9. Perdida de transmisión del muro 3 salón 2.

Techo y Piso: Por encontrarse en la segunda planta este salón se encuentra ubicado sobre otros salones de clase.

MATERIALES	CONCRETO	FIBROCEMENTO
S [m ²]	40,2	40,19
Espesor [m]	0,5	0,06
f(mn)[Hz]	33,4	6,2
Fc [Hz]	43,9	238,2

FRECUENCIAS [hz]	TL PISO [db]	TL TECHO [dB]
31,5	53,8	22,7
63	34,53	28,7
125	44	34,7
250	54,41	17,27
500	64,41	27,27
1000	74,41	37,27
2000	84,41	47,27
4000	94,41	57,27
8000	104,41	67,27
16000	114,41	77,27

Tabla 10. Perdida de transmisión de techo y piso salón 2.

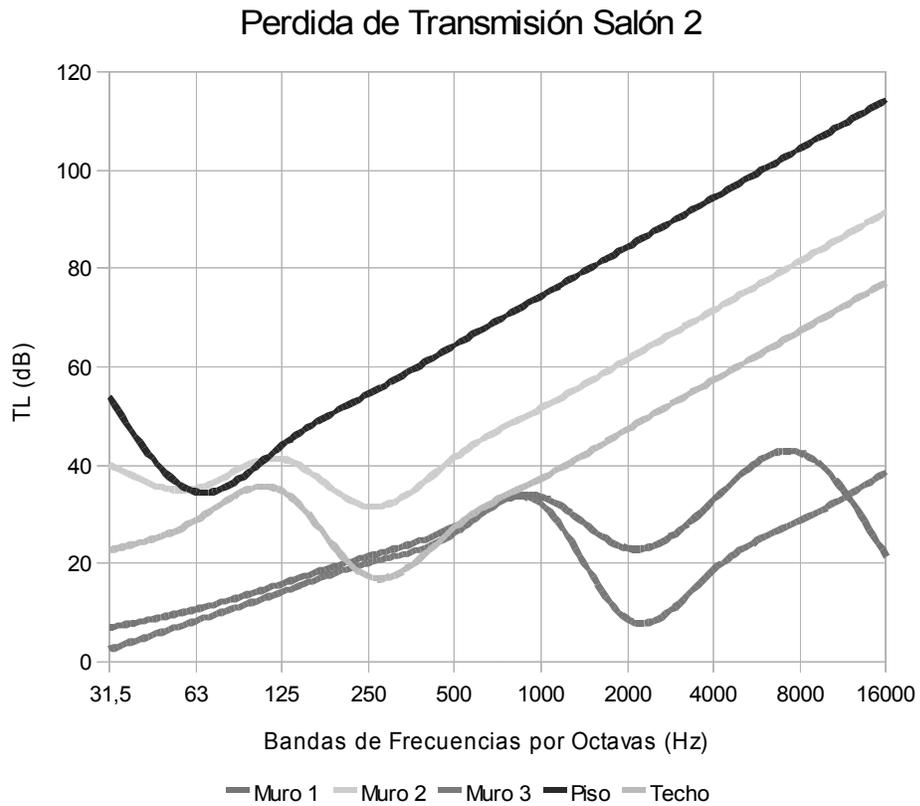
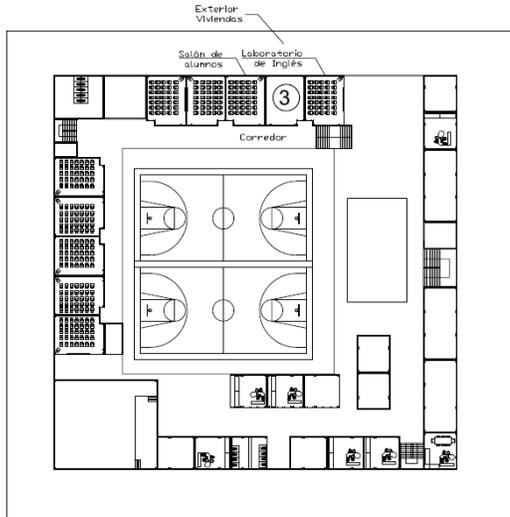


Figura 35. Perdida de transmisión Salón 2.

Salón 3. Su ubicación es en el primer nivel costado oeste.



PRIMER NIVEL

Figura 36. Ubicación salón 3.

Pared compuesta N° 1: Por estar ubicado en la primera planta el otro lado de la pared da directamente a las canchas de juegos. Igual que el salón 2 se considera la rejilla en los cálculos mitad como una ventana abierta y mitad pared por un ser una superficie uniforme.

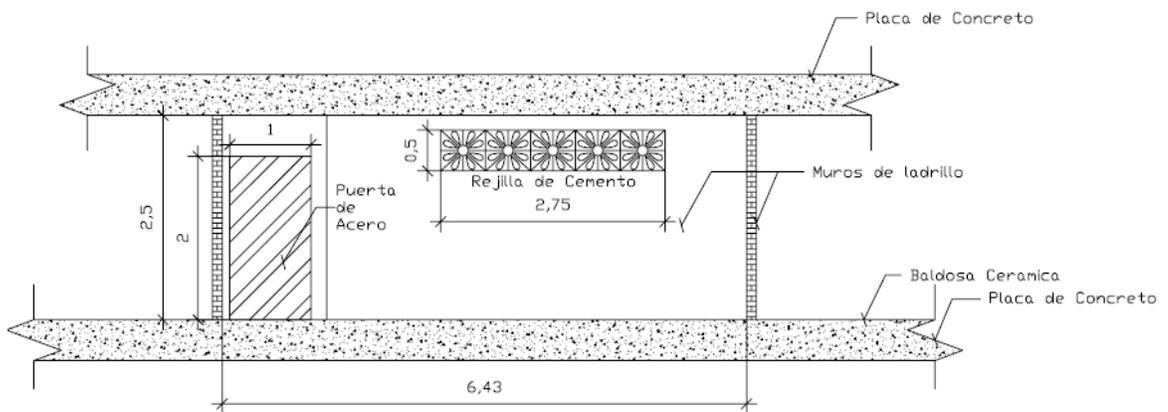


Figura 37. Materiales constructivos del Muro 1 Salón 3.

MATERIALES	LADRILLO	REJILLA	ACERO	S Total
S [m ²]	13,03	1,05	2,00	3,05
Espesor [m]	0,12	0,12	0,03	
f(mn)[Hz]	38,1	62,7	4,6	
Fc [Hz]	142,4	1987	8006,3	

PERDIDA DE TRANSMICIÓN

	FRECUENCIA	LADRILLO	REJILLA	ACERO	A total	TL total
	31,5	41,2	26,7	3,0	0,33	4,81
F(mn) Ladrillo	38,1	39,5	25,0	3,9	0,27	5,70
F(mn) Regilla	62,7	35,2	20,7	2	0,42	3,78
	63	35,2	12,2	7,0	0,15	8,15
	125	41,2	18,1	12,0	0,05	13,27
Fc Ladrillo	142,4	47,3	19,2	13,3	0,03	14,57
	250	31,5	24,1	18,1	0,01	18,38
	500	41,5	30,1	24,0	0,00	24,88
	1000	51,5	36,1	30,0	0,00	31,13
Fc Regilla	1987,6	61,4	47,1	36,0	0,00	37,58
	2000	61,5	12,6	36,1	0,02	17,20
	4000	71,5	22,6	42,1	0,00	27,14
	8000	81,5	32,6	48,1	0,00	37,01
Fc Puerta	8006,3	81,5	32,6	48,1	0,00	37,02
	16000	91,5	42,6	12,4	0,04	14,21

Tabla 11. Perdida de transmisión del muro 1 salón 3.

Pared N° 2 y 4: Adyacentes a estas paredes se encuentran salones con las mismas características con la diferencia que el salón que queda al lado del muro 2 es otro curso mientras que en el muro 4 se encuentra el laboratorio de Inglés.

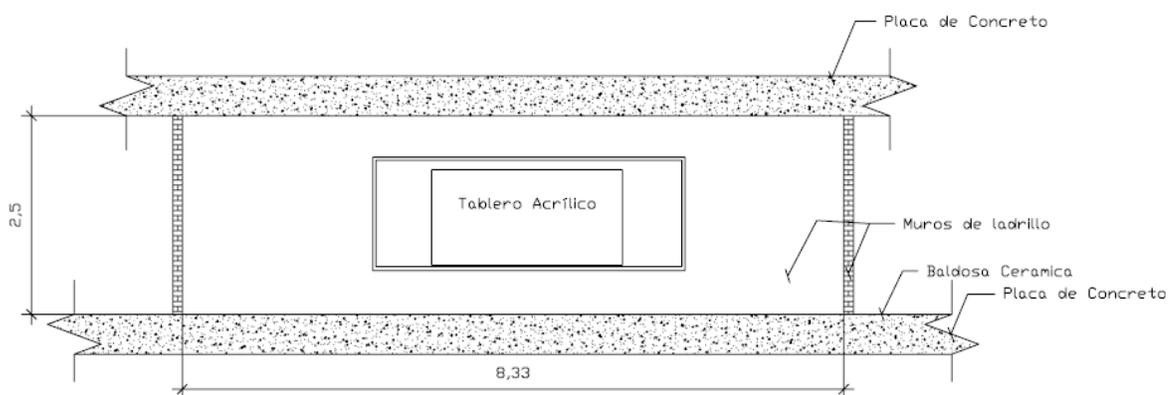


Figura 38. Materiales constructivos del Muro 2 Salón 3.

MATERIALES	LADRILLO
S [m ²]	20,83
Espesor [m]	0,12
f(mn)[Hz]	36,1
Fc [Hz]	142,4

FRECUENCIAS [hz]	TL PARED [db]
31,5	40,2
63	35,2
125	41,2
250	31,51
500	41,51
1000	51,51
2000	61,51
4000	71,51
8000	81,51
16000	91,51

Tabla 12. Perdida de transmisión del muro 2 salón 3.

Pared compuesta N° 3: El otro lado de este muro da contra la calle y muy cerca se encuentran viviendas.

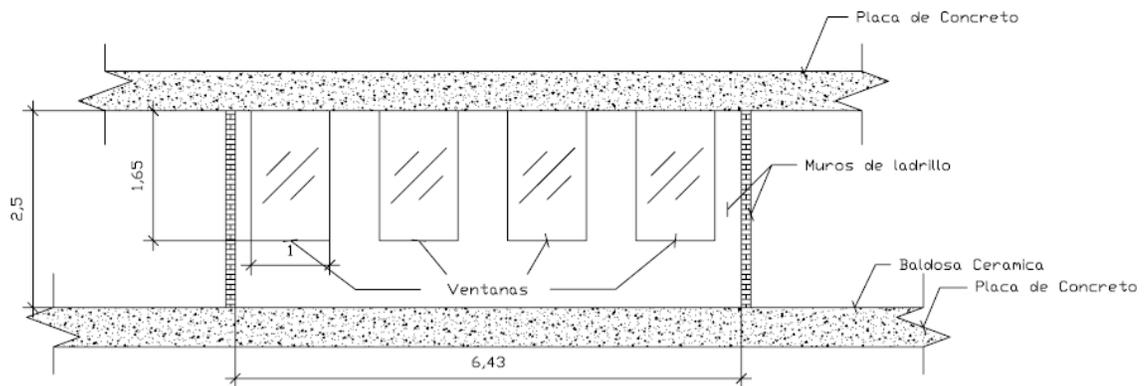


Figura 39. Materiales constructivos del Muro 3 Salón 3.

MATERIALES	LADRILLO	VIDRIO	S Total
S [m ²]	9,48	1,65	1,65
Espesor [m]	0,12	0,003	
f(mn)[Hz]	20,3	38,1	
Fc [Hz]	1987,6	142,4	

PERDIDA DE TRANSMICIÓN

FRECUENCIA [Hz]	LADRILLO	VIDRIO	A total	TL total [dB]
31,5	41,2	6,4	0,92	0,38
63	35,2	12,2	0,24	6,15
125	41,2	18,1	0,06	12,05
250	31,5	24,1	0,02	17,07
500	41,5	30,1	0,00	23,65
1000	51,5	36,1	0,00	29,90
2000	61,5	12,6	0,22	6,57
4000	71,5	22,6	0,02	16,57
8000	81,5	32,6	0,00	26,57
16000	91,5	42,6	0,00	36,57

Tabla 13. Perdida de transmisión del muro 3 salón 3.

Techo y Piso: Como se mencionó anteriormente este salón queda en la primera planta por lo tanto la parte superior es una placa similar a la del piso donde arriba de este se encuentran otros salones de clase.

MATERIALES	CONCRETO
S [m ²]	53,56
Espesor [m]	0,5
f(mn)[Hz]	25,9
Fc [Hz]	43,9

FRECUENCIAS [hz]	TL PISO Y TECHO [db]
31,5	49,1
63	34,53
125	44
250	54,41
500	64,41
1000	74,41
2000	84,41
4000	94,41
8000	104,41
16000	114,41

Tabla 14. Perdida de transmisión del muro 3 salón 3.

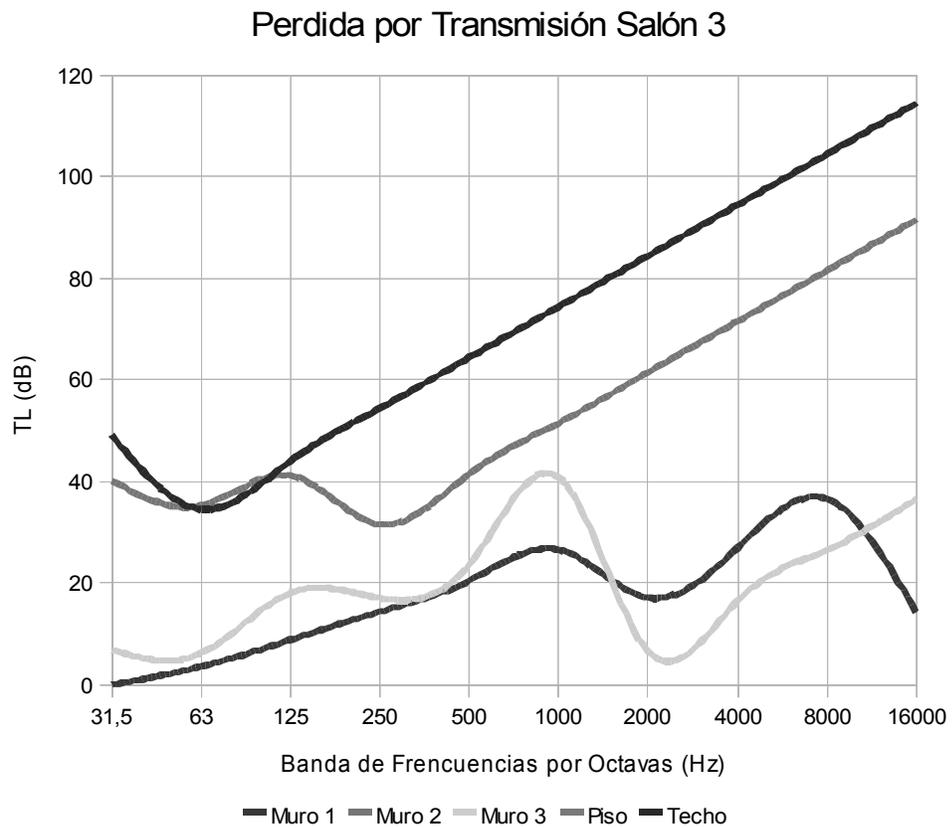


Figura 40. Perdida de transmisión Salón 3.

Teóricamente ningún salón cumple con un buen aislamiento lo cual es preocupante ya que aquí no se tiene en cuenta las fisuras de las puertas ventanas y techos ni tampoco flanqueo lo cual en las mediciones puede hacer que los resultados varíen y no solo para el aislamiento sino también para el tiempo de reverberación y la distancia crítica.

5.2.2 Tiempo de reverberación. Como método para calcular el tiempo de reverberación se utilizó la ecuación propuesta por el profesor de física Wallace Clement Sabine basándose en los principios de absorción regularmente distribuida, es decir campo difuso homogéneo y coeficiente promedio bajo menor o igual a 0,25-0,3. Sin embargo uno de los principios determina que es para recintos grandes y no es recomendable implementarlo en espacios pequeños, luego que pueden presentarse irregularidades con respecto a la mediciones, pero no existen ecuaciones de análisis de tiempo de reverberación para recintos pequeños y este a pesar de ser el más usado en el campo de la acústica es el que se adapta mejor a las condiciones físicas de los salones, enumeradas con anterioridad.

Por lo cual se obtiene los siguientes resultados para cada salón por banda de octava.

Salón 603

Volumen total [m3]		106,8												
	SUP.		125Hz		250 Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz	
MATERIALES	M2	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	
Teja de fibro cemento	34,31	0,08	2,75	0,20	6,86	0,50	17,16	0,40	13,73	0,40	13,73	0,35	12,01	
Piso de baldosa	34,00	0,01	0,34	0,01	0,34	0,02	0,68	0,02	0,68	0,02	0,68	0,02	0,68	
Pared ladrillo #1	15,91	0,05	3,00	0,04	0,64	0,02	0,32	0,04	0,64	0,05	0,80	0,05	0,80	
Pared ladrillo #2	17,39	0,05	0,87	0,04	0,70	0,02	0,35	0,04	0,70	0,05	0,87	0,05	0,87	
Pared ladrillo #3	15,31	0,05	0,77	0,04	0,61	0,02	0,31	0,04	0,61	0,05	0,77	0,05	0,77	
Pared ladrillo #4	20,27	0,05	1,01	0,04	0,81	0,02	0,41	0,04	0,81	0,05	1,01	0,05	1,01	
Ventanas	5,00	0,35	1,75	0,25	1,25	0,18	0,90	0,12	0,60	0,07	0,35	0,04	0,20	
Puertas	2,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06	0,03	0,06	
Tablero	2,88	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,09	0,04	0,12	0,05	0,14	0,07	0,20	
Atot			10,53		11,26		20,24		17,92		18,40		16,60	
Suma superficies	147,08													

Tiempo (Sabine)			1,62		1,52		0,84		0,95		0,93		1,03
-----------------	--	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------

Tabla 15. Tiempo de Reverberación Salón 1.

Salón 802

Volumen total [m3]		116,5												
	SUP.		125Hz		250 Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz	
MATERIALES	M2	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	
Teja de fibro cemento	40,19	0,08	3,22	0,20	8,04	0,50	20,10	0,40	16,08	0,40	16,08	0,35	14,07	
Piso de baldosa	45,68	0,01	0,46	0,01	0,46	0,02	0,91	0,02	0,91	0,02	0,91	0,02	0,91	
Pared ladrillo #1	15,21	0,05	3,00	0,04	0,61	0,02	0,30	0,04	0,61	0,05	0,76	0,05	0,76	
Pared ladrillo #2	14,66	0,05	0,73	0,04	0,59	0,02	0,29	0,04	0,59	0,05	0,73	0,05	0,73	
Pared ladrillo #3	9,48	0,05	0,47	0,04	0,38	0,02	0,19	0,04	0,38	0,05	0,47	0,05	0,47	
Pared ladrillo #4	19,38	0,05	0,97	0,04	0,78	0,02	0,39	0,04	0,78	0,05	0,97	0,05	0,97	
Ventanas	7,81	0,35	2,73	0,25	1,95	0,18	1,41	0,12	0,94	0,07	0,55	0,04	0,31	
Puertas	2,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06	0,03	0,06	
Tablero	2,88	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,09	0,04	0,12	0,05	0,14	0,07	0,20	
Atot			11,63		12,85		23,72		20,43		20,68		18,49	
Suma superficies	157,29													

Tiempo (Sabine)			1,60		1,45		0,79		0,91		0,90		1,01
-----------------	--	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------

Tabla 16. Tiempo de Reverberación Salón 2.

Salon 1103

Volumen total [m3]		131,3												
N	SUP.		125Hz		250 Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz	
	M2	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	alfa	S.alfa	
1	Techo en concreto	52,51	0,02	1,05	0,03	1,58	0,04	2,10	0,05	2,63	0,07	3,68	0,08	4,20
2	Piso de baldosa	52,51	0,01	0,53	0,03	1,58	0,05	2,63	0,02	1,05	0,02	1,05	0,02	0,00
3	Pared ladrillo	15,21	0,05	3,00	0,04	0,61	0,02	0,30	0,04	0,61	0,05	0,76	0,05	0,76
4	Pared ladrillo	14,66	0,05	0,73	0,04	0,59	0,02	0,29	0,04	0,59	0,05	0,73	0,05	0,73
5	Pared ladrillo	9,48	0,05	0,47	0,04	0,38	0,02	0,19	0,04	0,38	0,05	0,47	0,05	0,47
6	Pared ladrillo	19,38	0,05	0,97	0,04	0,78	0,02	0,39	0,04	0,78	0,05	0,97	0,05	0,97
8	Ventanas	7,81	0,18	1,41	0,06	0,47	0,04	0,31	0,03	0,23	0,02	0,16	0,02	0,16
9	Puertas	2,25	0,14	0,32	0,10	0,23	0,06	0,14	0,08	0,18	0,10	0,23	0,10	0,23
10	Tablero	5,62	0,01	0,06	0,01	0,06	0,03	0,17	0,04	0,22	0,05	0,28	0,07	0,39
	Atot			8,53		6,25		6,52		6,66		8,32		7,91
	Aire								0,003	0,39	0,007	0,87	0,023	3,02
	Suma superficies	179,42												
	Alfa prom			0,05		0,03		0,04		0,04		0,05		0,04
	Suma			17,06		12,50		13,03		13,72		17,51		18,84

Tiempo (Sabine)			1,23		1,68		1,61		1,53		1,20		1,11
-----------------	--	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------

Tabla 17. Tiempo de Reverberación Salón 3.

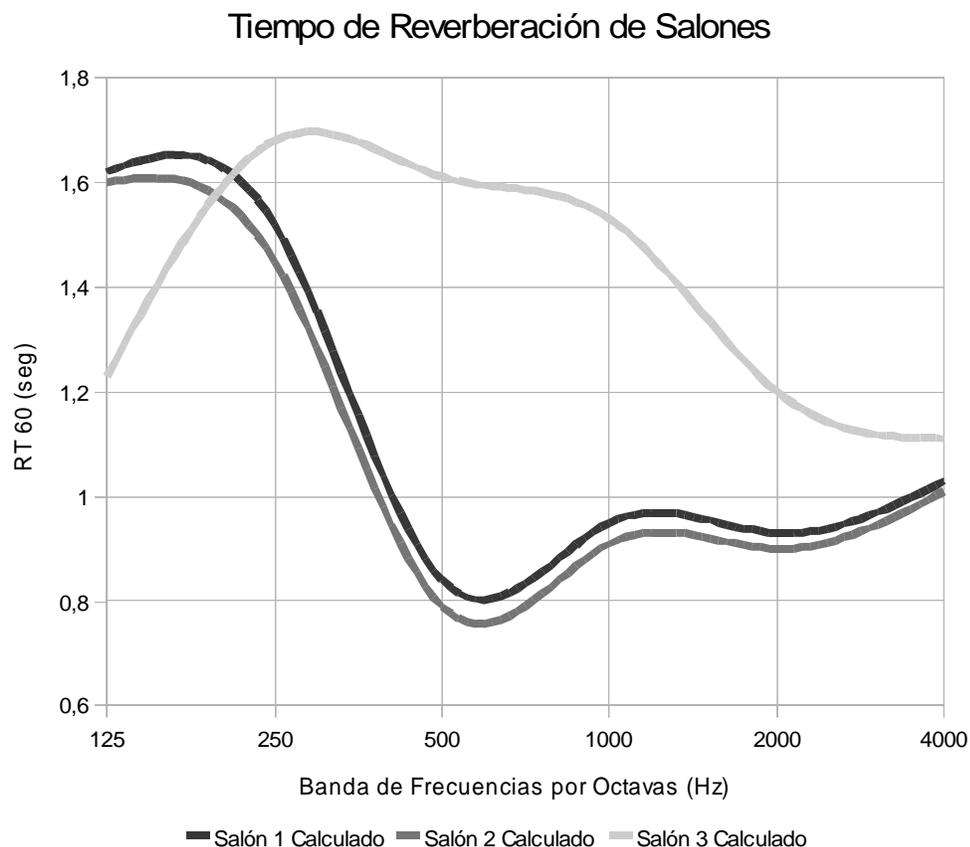


Figura 41. Tiempo de Reverberación de los salones.

5.2.3. Modos normales. Para hallar los modos normales de un recinto se requiere que este sea de forma paralelepípeda lo que no se presenta en ningún caso porque los salones 1 y 2 no tienen una forma regular en la parte superior luego que el tejado posee una inclinación y en los salones 2 y 3 una de sus paredes es de forma irregular (Ver anexo F). Por consiguiente para el caso del salón 1 y 2 se tomó una altura promedio para observar el comportamiento de las ondas estacionarias en estos dos recintos y en los salones 2 y 3 se supuso que las paredes son regulares.

El cálculo es basado a las ecuaciones ya mencionadas, (Ver marco teórico modos normales de un recinto) las cuales se introducen en una hoja de cálculo. Se inserta las dimensiones de cada salón con su respectivo tiempo de reverberación de las frecuencias medias (500Hz y 1000Hz) para hallar la frecuencia máxima.

A continuación se ilustra para cada salón los resultados obtenidos:

Salón 1

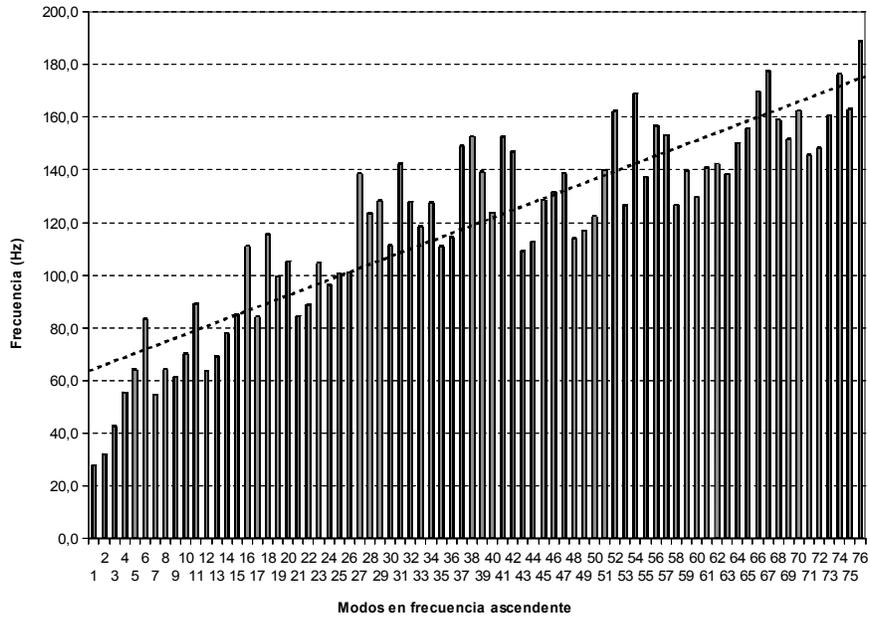


Figura 42. Modos normales salón 1.

Salón 2

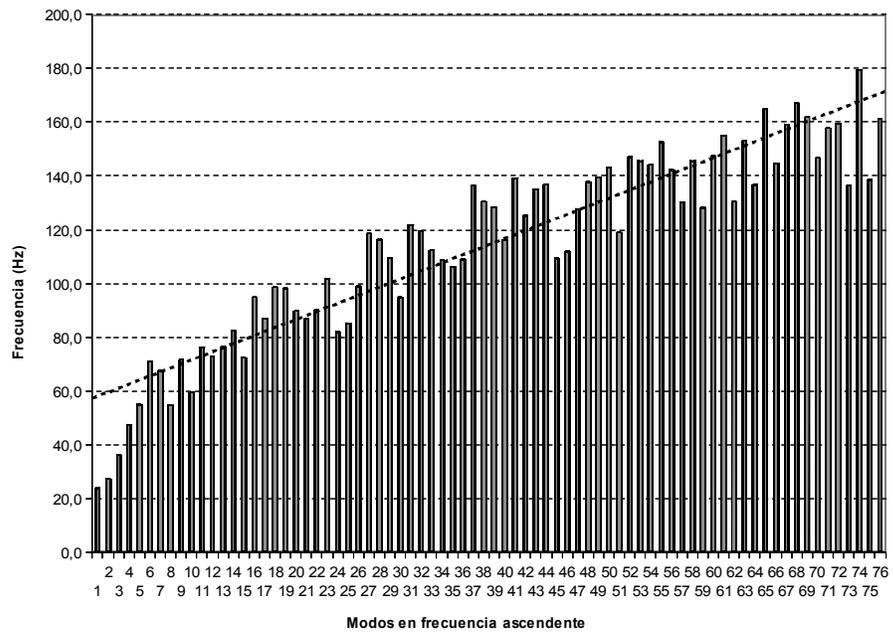


Figura 43. Modos normales salón 2.

Salón 3

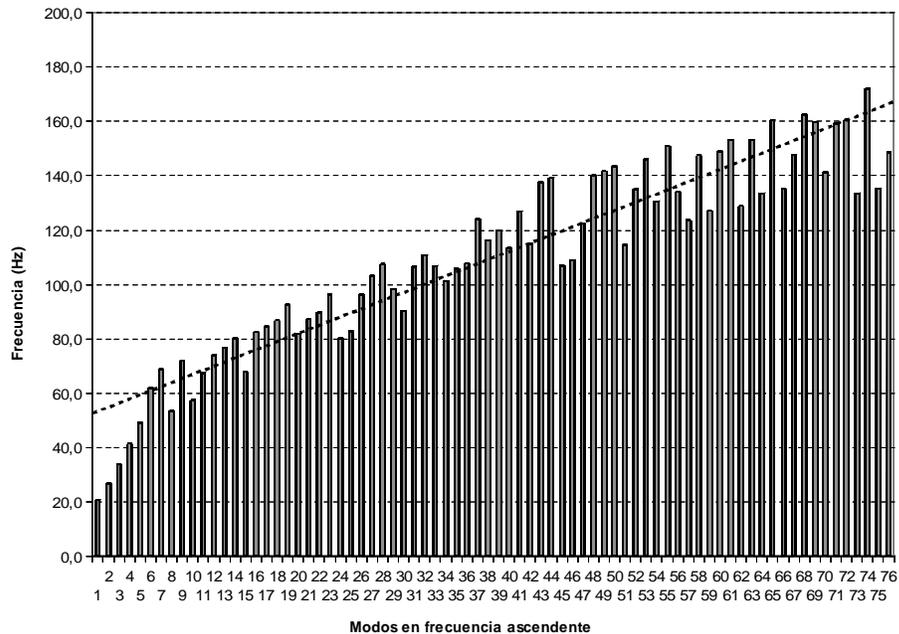


Figura 44. Modos normales salón 3.

5.2.4 Campo Sonoro. Continuando con el análisis teórico de los salones se calcula la distancia crítica según el método propuesto por Hopkins – Stryker donde se calcula los niveles para cada campo sonoro.

En la figura 45 se puede observar la distancia crítica para cada banda de frecuencia por octavas.

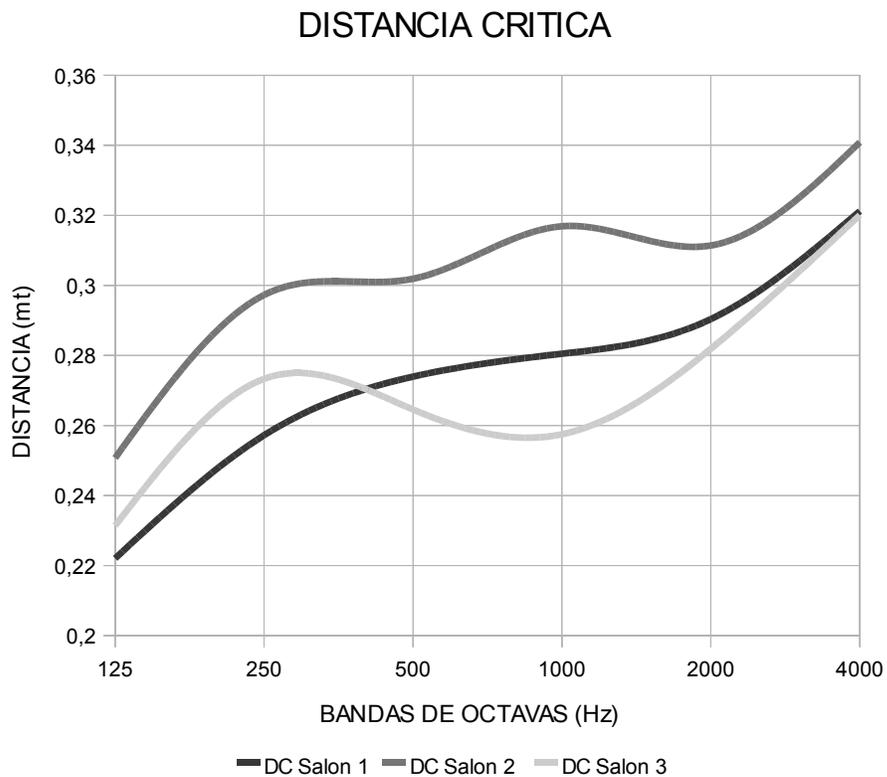


Figura 45. Distancia Crítica de los salones.

A continuación se muestra el promedio de los resultados y de cada nivel para cada campo sonoro en los diferentes salones.

Salón 1	
Dc	0,64
S α (sabine)	15,82
S α (H_S)	15,18
LT	90,98
LD	90,20
LR	83,10
Lact	79,31

Tabla 18. Niveles de campo sonoro salón 1.

Salón 2	
Dc	0,68
S α (sabine)	17,96
S α (H_S)	17,15
LT	90,89
LD	90,20
LR	82,56
Lact	77,50

Tabla 19. Niveles de campo sonoro salón 2.

Salón 3	
Dc	0,43
S α (sabine)	9,28
S α (H_S)	9,05
LT	91,750
LD	90,203
LR	86,515
Lact	83,975

Tabla 20. Niveles de campo sonoro salón 3.

5.2.5 Inteligibilidad de la palabra. Se calcula inteligibilidad de la palabra por el método de Knudsen obteniendo los siguientes resultados para cada salón.

INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA SALÓN 1						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
RT60 [seg]	1,98	1,54	1,4	1,35	1,26	1,03
R	15,5	9,4	6,5	5	5	5
NPS_{Ruido} [dBA]	46,2	50,4	58,4	59,6	56,4	50,4
NPS_{Locutor} [dBA]	60,64	62,80	64,39	65,52	65,52	65,52
NPS_{Ruido}/NPS_{Locutor}	0,7618	0,8026	0,9070	0,9096	0,8608	0,7692
K_r	0,94	0,94	0,943	0,95	0,955	0,965
K_l	0,94	0,945	0,95	0,95	0,95	0,95
K_s	1	1	1	1	1	1
Kn1*	0,82	0,8	0,77	0,77	0,79	0,82
Kn2**	0,71	0,69	0,6	0,6	0,66	0,71
Indice de Articulación1 [%]	0,7246	0,7106	0,6898	0,6949	0,7167	0,7517
Indice de Articulación2 [%]	0,6274	0,6129	0,5375	0,5415	0,5988	0,6509
% de la Frase (Concentrado)1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1
% de la Frase (Concentrado)2	0,98	0,98	0,96	0,96	0,97	0,98
% de la Frase (No Concentrado)1	0,93	0,93	0,9	0,9	0,93	0,93
% de la Frase (No Concentrado)2	0,88	0,88	0,84	0,84	0,85	0,89

Tabla 21. Inteligibilidad de la palabra salón 1.

INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA SALON 2						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
RT60 [seg]	1,631	1,208	1,211	1,111	1,149	0,956
R	19,41	12,23	8,3	6	5,7	5,4
NPS _{Ruido} [dBA]	44,5	45,7	47,9	47,4	42,9	35,4
NPS _{Locutor} [dBA]	59,89	61,87	63,54	64,94	65,17	65,40
NPS _{Ruido/NPSLocutor}	0,7430	0,7386	0,7538	0,7299	0,6583	0,5413
Kr	0,95	0,9525	0,9525	0,955	0,955	0,96
Kl	0,94	0,945	0,95	0,95	0,95	0,95
Ks	1	1	1	1	1	1
Kn1*	0,82	0,82	0,82	0,82	0,86	0,9
Kn2**	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,8
Indice de Articulación1 [%]	0,7323	0,7381	0,7420	0,7439	0,7802	0,8208
Indice de Articulación2 [%]	0,6340	0,6391	0,6425	0,6441	0,6532	0,7296
% de la Frase (Concentrado)1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,81	0,79
% de la Frase (Concentrado)2	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
% de la Frase (No Concentrado)1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,7	0,66
% de la Frase (No Concentrado)2	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,93

Tabla 22. Inteligibilidad de la palabra salón 2.

INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA SALON 3						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
RT60 [seg]	2,219	1,666	1,786	1,867	1,556	1,214
R	15	7,7	7,3	8,7	10	9,4
NPS _{Ruido} [dBA]	39,5	43,9	50,3	50,5	49,1	42,8
NPS _{Locutor} [dBA]	61,51	64,38	64,61	63,86	63,26	63,52
NPS _{Ruido/NPSLocutor}	0,6421	0,6818	0,7785	0,7908	0,7762	0,6738
Kr	0,92	0,94	0,93	0,93	0,94	0,965
Kl	0,945	0,95	0,95	0,95	0,945	0,95
Ks	1	1	1	1	1	1
Kn1*	0,85	0,84	0,82	0,8	0,82	0,84
Kn2**	0,72	0,71	0,71	0,69	0,71	0,71
Indice de Articulación1 [%]	0,7390	0,7501	0,7245	0,7068	0,7284	0,7701
Indice de Articulación2 [%]	0,6260	0,6340	0,6273	0,6096	0,6307	0,6509
% de la Frase (Concentrado)1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,81
% de la Frase (Concentrado)2	0,98	0,98	0,98	0,96	0,98	0,98
% de la Frase (No Concentrado)1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,7
% de la Frase (No Concentrado)2	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89

Tabla 23. Inteligibilidad de la palabra salón 3.

Según el método de knudsen los recintos que poseen índices de articulación mayores a 80% tienen una excelente inteligibilidad de la palabra. Para los índices alrededor del 75% poseen una buena inteligibilidad pero se requiere de cierta concentración por parte del auditor lo cual causaría agotamiento prematuro. Y por último los valores cerca al 65% son recintos de inteligibilidad deficiente y requiere por parte del auditor mayor concentración.

Los valores de índice de articulación que se observan en las tablas anteriores oscilan entre el 60% y el 70% lo cual indica que los niños requieren de mayor concentración para entender el tema presentado por el docente debido a la inteligibilidad deficiente que poseen estos recintos lo cual coincide con el porcentaje de Alcons la cual se obtuvo una inteligibilidad entre pobre y aceptable.

Para tener resultados mas asertivos se evaluó el coeficiente de inteligibilidad con la siguiente gráfica.

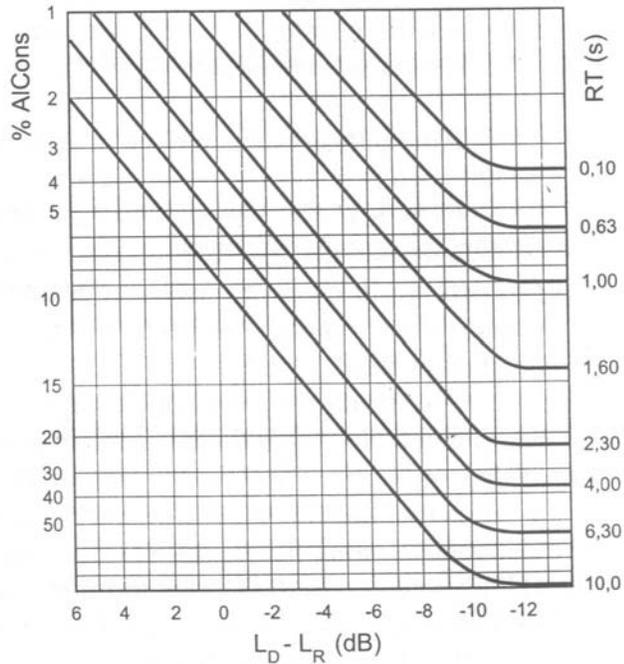


Figura 46. Calculo de %AICons.

$$\text{Siendo } L_D - L_r = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \quad (53)$$

Donde:

Q es el factor de directividad de la fuente la cual para este caso es igual a 2 porque la fuente es voz humana y su directividad es frontal.

r distancia del punto considerado de la fuente. Para los cálculos de cada salón se tomo una distancia de 2 mts desde de la fuente con el fin de hallar los valores en la zona de los estudiantes.

R es la constante del recinto y esta dada por:

$$R = \frac{S_{tot} \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (54)$$

Stot es la superficie total de la sala [m²]
 $\bar{\alpha}$ coeficiente de absorción medio de la sala.

Analizando los resultados y según la gráfica anterior se identifica la solución en algunos de los siguientes rangos dando así la valoración subjetiva de la inteligibilidad de la palabra.

%Alcons	STI/RASTI	VALORACION SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 - 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 - 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,50 - 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 - 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 - 0,34	Mala

Tabla 24. Valoración Subjetiva de la inteligibilidad.

Salón 1	%Alcons	11,4%-5.3%
	STI/RASTI	0,50 – 0,64
	Valoración objetiva	Aceptable
Salón 2	%Alcons	24,2%-12%
	STI/RASTI	0,36 – 0,49
	Valoración objetiva	Pobre
Salón 3	%Alcons	11,4%-5.3%
	STI/RASTI	0,50 – 0,64
	Valoración objetiva	Aceptable

5.3 MEDICIONES.

Las mediciones de ruido se realizaron según la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 y las mediciones acústicas se desarrollaron según las normas ISO 3382 para tiempo de reverberación y las ISO 140-4 e ISO 140-5 para aislamiento.

Se inicia con las mediciones de ruido del exterior del colegio, seguido de las mediciones de ruido dentro del plantel. Luego se prosigue con las mediciones de ruido de fondo en cada uno de los salones que se tomaron como muestra, después se realizan las mediciones acústicas como RT60, campo sonoro, inteligibilidad y aislamiento en cada uno de los salones.

4.1.1 Niveles de ruido. Las Mediciones de Ruido se realizaron según la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 desarrollándolas en la parte exterior e interior del Colegio, en horario diurno y con tiempo seco, usando como equipo de

medición el sonómetro Svantek 943A Tipo 2 con filtros de ponderación frecuencial Lin., A y C y filtro de ponderación temporal Fast. En el exterior de la institución se midió en 5 puntos estratégicos cada uno con un tiempo de 15 minutos de medición debido a que el ruido causado por el tráfico es constante y no se genera la necesidad de un estudio en todo el horario académico. Los puntos de medición se ubicaron a una distancia de 2 metros del perímetro de la institución y una altura de 1.2 metros del suelo usando el protector antiviento.

Se tomaron puntos internos en horas de clase y en el receso, al no ser posible realizar las mediciones de ruido en el interior de los salones se tomaron muestras en el laboratorio de química, la oficina de orientación, los corredores y el patio.

5.3.1 Ruido Exterior. El ruido externo que afecta a la comunidad educativa es debido al flujo vehicular que circula por la carrera 91 con calle 90, luego que es una de las entradas de la localidad de Suba, como se observa en la figura 32. Para esta ocasión se toman cinco puntos alrededor de la institución como lo recomienda la resolución 0627 del 7 de abril de 2006, dando especial énfasis sobre las avenidas, esto con el fin de conocer los niveles de ruido que son producidos por el tráfico vehicular y así analizar los niveles de exposición.

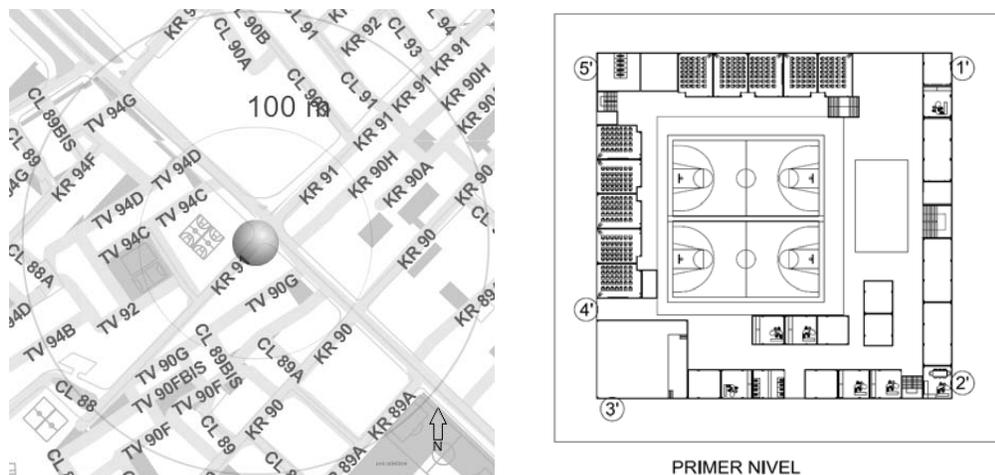


Figura 47. Ubicación CED José Asunción Silva y croquis del primer nivel.

A continuación se observa los niveles de ruido para cada banda de octava de cada punto alrededor de la institución.

NIVEL DE RUIDO EN Lin							NIVEL DE RUIDO EN A						
F (Hz)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio	F (Hz)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
31,5	80,00	76,90	75,9	70,90	66,00	76,1	31,5	40,6	37,5	36,5	31,5	26,6	36,7
63	84,50	84,90	80,6	69,50	67,40	81,6	63	58,3	58,7	54,4	43,3	41,2	55,4
125	80,00	79,50	75	65,70	62,20	76,6	125	63,9	63,4	58,9	49,6	46,1	60,5
250	74,10	74,60	70	62,40	58,20	71,3	250	65,5	66	61,4	53,8	49,6	62,7
500	71,10	72,50	68,6	61,60	58,10	69,0	500	67,9	69,3	65,4	58,4	54,9	65,8
1000	69,10	71,90	67,3	59,70	54,80	67,8	1000	69,1	71,9	67,3	59,7	54,8	67,8
2000	67,20	67,80	65,3	56,50	49,30	64,8	2000	68,4	69	66,5	57,7	50,5	66,0
4000	62,40	63,10	61	49,50	44,80	60,1	4000	63,4	64,1	62	50,5	45,8	61,1
8000	57,90	58,50	59,1	43,10	39,40	56,4	8000	56,8	57,4	58	42	38,3	55,3
16000	53,80	52,70	60,7	39,40	35,20	55,1	16000	47,2	46,1	54,1	32,8	28,6	48,5
TOT Lin	87,3	87,1	83,3	74,7	71,1	84,2	TOT A	74,7	76,1	72,6	64,1	59,4	72,6
TOT C	85,3	85,3	82,3	72,5	68,4	82,4	TOT C	85,3	85,3	82,3	72,5	68,4	82,4
TOT A	74,7	76,1	83,32	64,1	59,4	77,6	TOT Lin	86,1	86,1	83,4	73,6	69,3	83,3

Tabla 25. Niveles de ruido exterior en ponderación lineal y A.

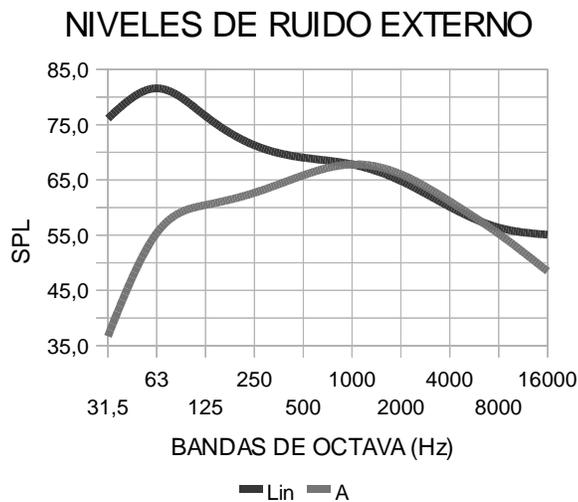


Figura 48. Comparación de niveles de ruido en ponderación lineal y A.

Como se puede observar se tiene un alto nivel en las bajas frecuencias especialmente en la banda de 63 dB. Siguiendo las recomendaciones de la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 se agregan 5 dBA al Leq A por ser en horario diurno obteniendo:

Punto 1: $L_{Aeq,15min} = 79,7$ dBA.

Punto 2: $L_{Aeq,15min} = 81,1$ dBA.

Punto 3: $L_{Aeq,15min} = 77,6$ dBA.

Punto 4: $L_{Aeq,15min} = 69,1$ dBA.

Punto 5: $L_{Aeq,15min} = 64,4$ dBA.

Con base a lo anterior y siguiendo con las recomendaciones de la resolución a continuación se exponen los valores de exposición sonora que emite el ruido exterior de la institución con el fin de identificar el punto que contiene mayor nivel de energía acústica.

Exposición Sonora Ruido Exterior		
Punto	Leq [dBA]	E [Pa ² /h]
1	79,7	0,009333
2	81,1	0,012882
3	77,6	0,005754
4	69,1	0,000813
5	64,4	0,000275

Tabla 26. Exposición sonora del ruido exterior.

Según lo anterior el punto que tiene mayor energía acústica es el punto dos seguido del punto uno los cuales se encuentran sobre la avenida. El punto de menor energía es el punto cinco el cual esta ubicado entre el parque y el colegio.

A continuación se presenta la tabla donde se encuentran los valores generales de la medición incluyendo los niveles máximos y mínimos de las mediciones y los picos.

Punto 1

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unidad	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
08/07/2008	07:32'42	#1	A	00:15'00	dB	100,8	61,5	88,7	80,6	74,7	104,2
08/07/2008	07:32'42	#2	Lin	00:15'00	dB	109,1	74	102,4	86,3	86,1	115,6
08/07/2008	07:32'42	#3	C	00:15'00	dB	108,6	72,6	101,9	86,1	85,3	114,8

Punto 2

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unidad	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
08/07/2008	07:49'26	#1	A	00:15'00	dB	105	61,1	97,9	75,6	76,1	105,6
08/07/2008	07:49'26	#2	Lin	00:15'00	dB	108,1	74,3	101,2	92,1	86,1	115,6
08/07/2008	07:49'26	#3	C	00:15'00	dB	107,7	72,4	100,7	91,4	85,3	114,8

Punto 3

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unidad	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
08/07/2008	08:07'20	#1	A	00:15'00	dB	101,7	54,6	90	62,3	72,6	101,9
08/07/2008	08:07'20	#2	Lin	00:15'00	dB	108	68,2	101,4	77,3	83,4	112,9
08/07/2008	08:07'20	#3	C	00:15'00	dB	107,7	66,8	100,4	75,6	82,3	111,8

Punto 4

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unidad	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
08/07/2008	08:25'04	#1	A	00:15'00	dB	95,8	54,8	86,8	63	64,1	93,6
08/07/2008	08:25'04	#2	Lin	00:15'00	dB	98,6	62,1	88,8	73,3	73,6	103,1
08/07/2008	08:25'04	#3	C	00:15'00	dB	97,2	61,5	88,5	71,7	72,4	101,9

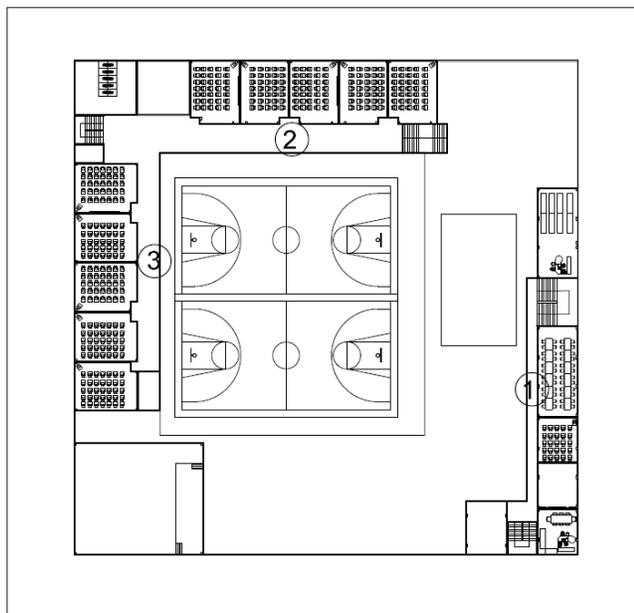
Punto 5

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unidad	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
08/07/2008	08:50'04	#1	A	00:15'00	dB	93,9	49,8	78,1	57	59,4	88,9
08/07/2008	08:50'04	#2	Lin	00:15'00	dB	94,2	60	82,4	66,2	69,3	98,8
08/07/2008	08:50'04	#3	C	00:15'00	dB	92,7	58,8	81,9	65,5	68,4	97,9

Tabla 27. Resultados Generales de Mediciones del Ruido Exterior.

Como se mencionó anteriormente, en el sector B de tranquilidad y ruido moderado el nivel permitido es de 65dBA en el horario diurno, según esto y analizando los resultados anteriores los puntos sobre las dos avenidas que cruzan la institución no están dentro de la norma, pero los puntos lejos del tránsito vehicular están dentro de los niveles permitidos, esto quiere decir que en esta zona no es necesario efectuar un aislamiento complejo del ruido exterior.

5.3.2 Ruido Interior. Debido a que las mediciones de exposición de ruido en el interior de los salones no eran posibles llevarlas a cabo en el transcurso de la jornada de estudio, se midió el nivel de ruido de fondo en los tres salones el día sábado donde no había ninguna actividad dentro de la institución. Así mismo durante la semana se tomaron muestras en el espacio del recreo y cuando los alumnos estaban en clase en diferentes puntos de la institución.



SEGUNDO NIVEL

Figura 49. Puntos de medición ruido interior.

Se toman tres muestras del ruido que es producido por la comunidad de la institución cuando se encuentran en el tiempo de descanso. Para esta toma de mediciones se ubica el equipo de medición en tres lugares estratégicos en el segundo nivel por seguridad por que los estudiantes se encuentran jugando. Estas mediciones son para analizar los niveles de ruido emitidos por los estudiantes y tenerlos en cuenta como un punto critico para el diseño del aislamiento de los salones.

NIVEL DE RUIDO DESCANSO EN dBA				
f[Hz]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMEDIO
31,5	32,7	34,7	31,7	33,2
63	48,4	56,4	56,5	55,0
125	57,2	63,1	57,3	60,1
250	63,9	66,9	69,6	67,4
500	70,7	76,7	75,3	74,9
1000	74,6	82,6	80,1	80,2
2000	70,9	79	79,1	77,6
4000	68,9	76,6	77,9	75,8
8000	52,7	60,5	60	58,9
16000	40	46,9	46,9	45,6
TOT A	78	85,5	84,5	83,7
TOT C	80,9	87,5	86,2	85,7
TOT Lin	81,3	87,8	86,5	86,0

Tabla 28. Niveles de ruido en el tiempo de descanso.

A continuación se ilustran los resultados de las mediciones.

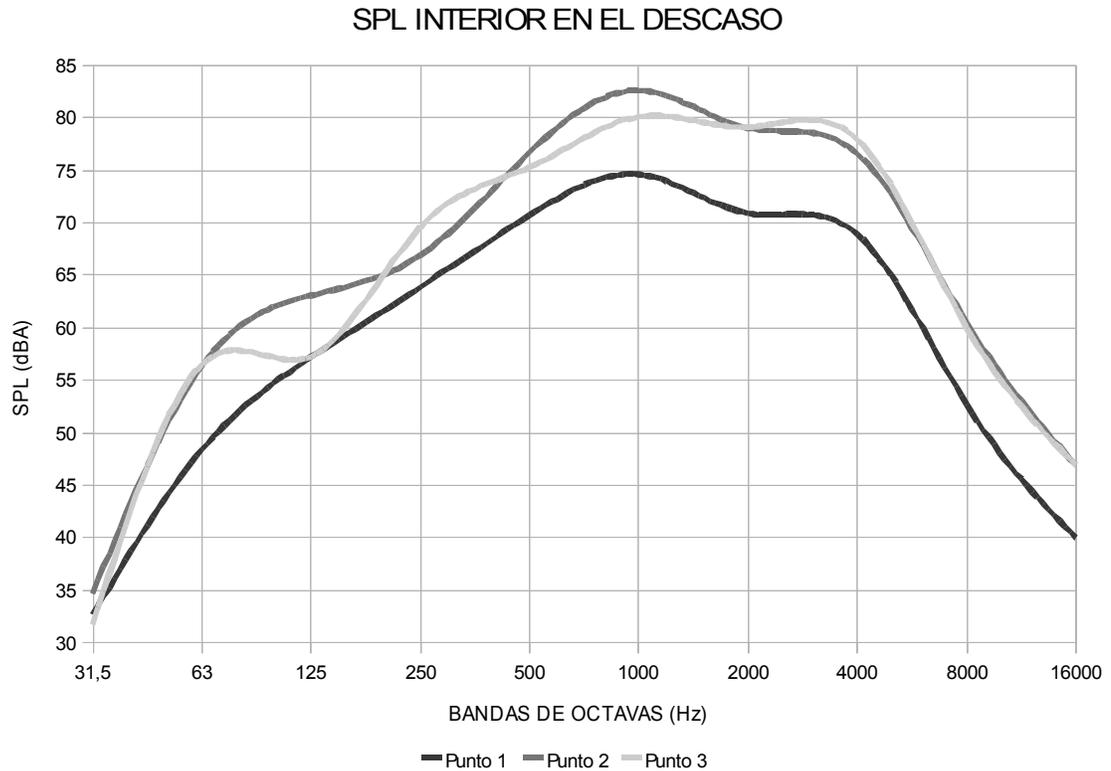


Figura 50. SPL Interior en el descanso.

En estas mediciones se analiza un alto nivel en 1Khz en todas las posiciones seguido de las frecuencias de 500Hz y 2KHz y luego de las bajas frecuencias, se recuerda que la voz especialmente de los niños y las mujeres esta compuesta por las frecuencias altas y medias. En la segunda posición se observa un aumento de niveles en las altas frecuencias especialmente en la de 4Khz seguido de 8KHz. Y para la tercera medición se observa un pico para la banda de 63Hz.

De los tres puntos de medición se desprende que los mayores niveles de ruido se encuentran entre las frecuencias de 250Hz y 4KHz, estas frecuencias son componentes importantes dentro del rango de la voz humana por lo cual a estos elevados niveles se le atribuyen a las voces de los estudiantes ubicados en las zonas de descanso, salones adyacentes y corredores del colegio; es tal el nivel de emisión que producen los estudiantes que los valores de ruido exterior pasan a un segundo plano.

También se observa un pico de nivel con resonancia en las frecuencias medias, debido a la señal que se genera para notificar a los estudiantes del cambio de

clase, inicio o fin del descanso. La señal registra un alto nivel seguido por los gritos de los estudiantes como se expone en la figura 36, la cual alcanza a tener un Leq de 88.9dbA.

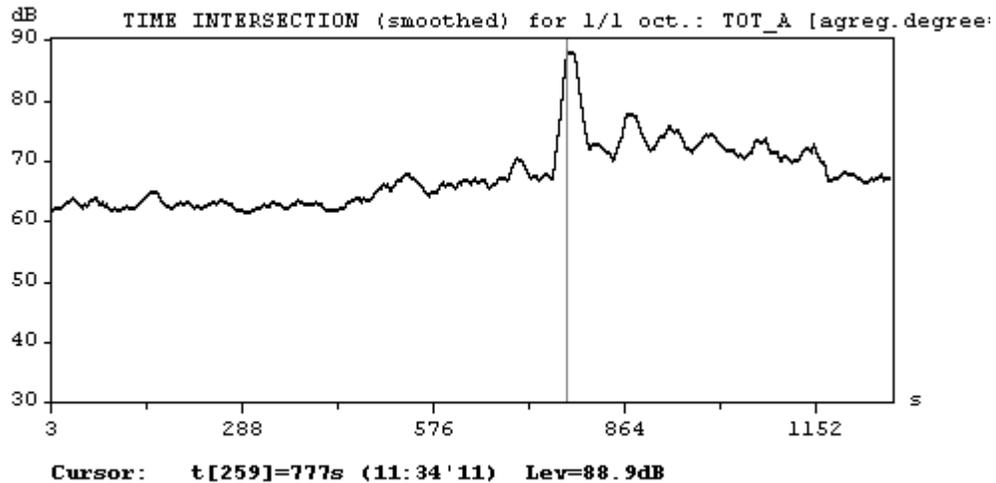
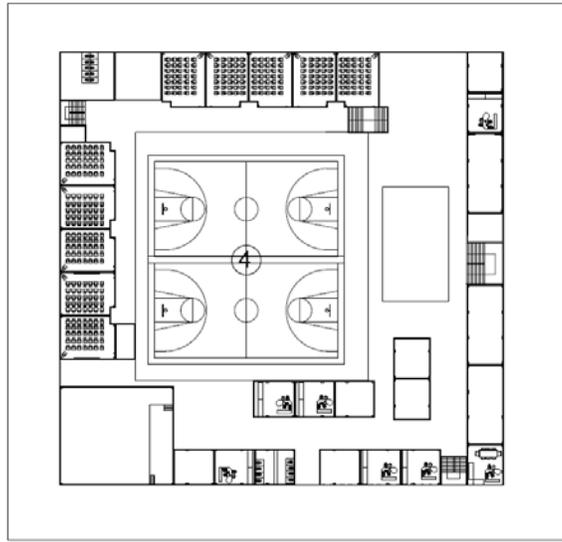


Figura 51. Nivel de la alarma para cambio de clase.

También hay que tener en cuenta que los niveles aumentan considerablemente con las actividades que realizan como lo es la hora del descanso, izadas de bandera o el cambio de posición al correr los escritorios; es necesario generar conciencia del ruido que generan las acciones que realizan.

Para concluir estas mediciones se analiza que los puntos de mayor nivel son el 2 y 3 con la diferencia de 1dBA, además hay un alto contenido energético en las frecuencias medias y altas. Cuando se presentan altos niveles en frecuencias bajas unas de las causantes son las vibraciones estructurales y en este caso no se aplica por que los niveles son muy bajos.

Las siguientes mediciones fueron efectuadas cuando todos los estudiantes estaban en clase en sus respectivos salones en el centro del área de recreación con el fin de comparar con los niveles de ruido cuando los estudiantes están afuera de los salones. Como se esperaba en esta franja el ruido exterior vuelve a pasar a primer plano, por lo tanto se presenta un comportamiento similar a las primeras mediciones ejecutadas en las diferentes áreas del plantel.



PRIMER NIVEL



Figura 52. Punto de medición del ruido interior en el tiempo de clase.

NIVEL DE RUIDO CLASE EN dBA			
f[Hz]	Punto 1	Punto 2	PROMEDIO
31,5	28,4	32,9	32,2
63	41,2	44,7	44,5
125	46,2	50	49,6
250	53,6	58,9	57,9
500	59,6	69,9	67,6
1000	61,1	70,8	68,6
2000	58,2	67,9	65,7
4000	51,8	63,5	61,0
8000	44,6	52,4	50,6
16000	33,9	39,9	38,7
TOT A	65,1	74,8	72,6
TOT C	70,7	77,6	76,1
TOT_Lin	71,7	78,5	77,0

Tabla 29. Niveles de ruido interior en tiempo de clase.

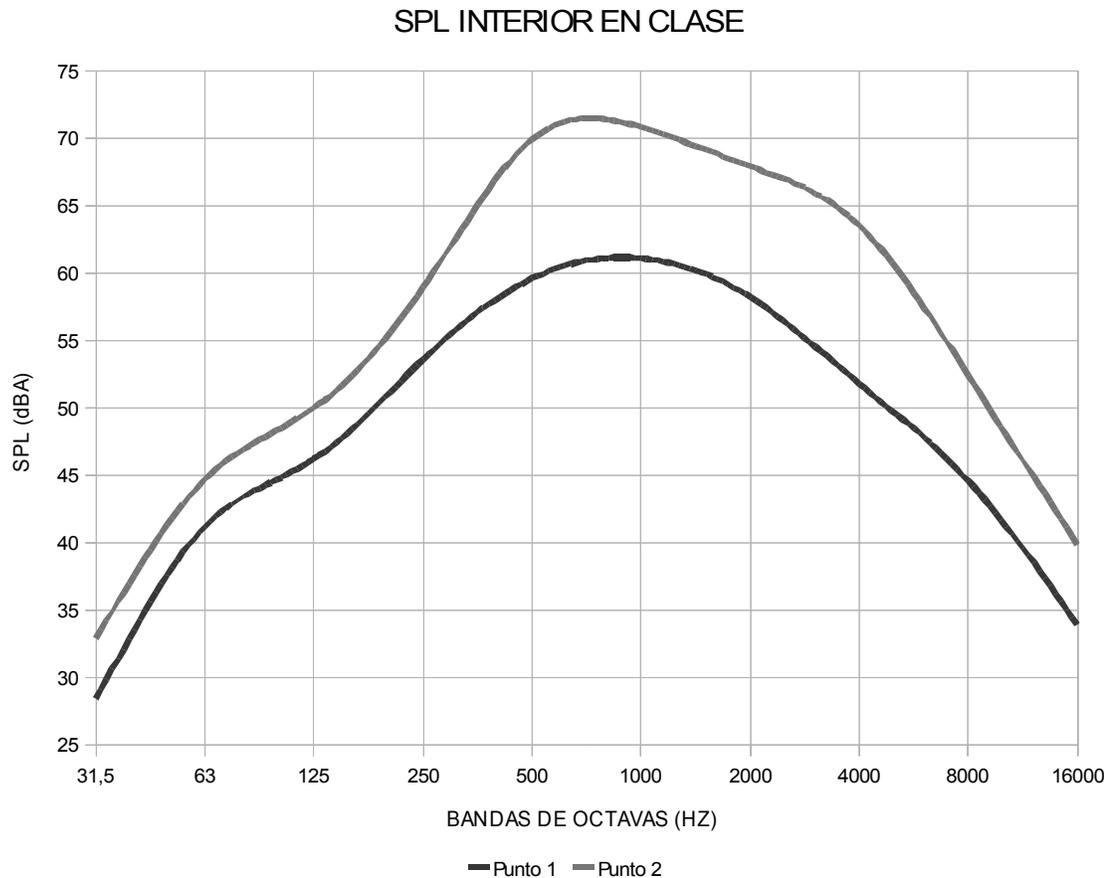


Figura 53.SPL interior en clase.

Al comparar estos valores con los de la franja del descanso se obtiene una reducción del Leq de 11.1dBA pasando de 83.7dBA a 72.6dBA. Esta reducción se ve claramente en las frecuencias medias y altas como es en el caso de 1KHz, 2KHz y 4KHz con una reducción de 11.6dBA, 11.9dBA y 14.8dBA respectivamente, lo cual se le atribuye a las voces y gritos de los estudiantes. Aún con la ausencia de los estudiantes en el patio, los niveles de ruido siguen siendo altos.

A continuación se presentan los resultados y el análisis de la exposición sonora¹³ de cada una de las mediciones. Para esto se lleva a cabo el cálculo de la exposición sonora a partir del nivel y la duración de los puntos de medición con la siguiente ecuación:

¹³ Harris, Cyril., “Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido”. Tercera Edición. McGraw-Hill. p. 12.3

$$E = (p_0^2 T) [10^{0,1Leq}] \quad (55)$$

Donde:

E es la exposición sonora en pascales cuadrados hora.

Po es la presión de referencia de 20μPa.

T es el intervalo de tiempo en horas.

Leq es el nivel sonoro continuo equivalente en ponderación A.

En la siguiente tabla se presentan los valores de exposición sonora para cada punto de ruido interior.

Exposición Sonora Ruido Interior		
Punto	Leq [dBA]	E [Pa ² /h]
Punto 1 Descanso	78	0,006310
Punto 2 Descanso	85,5	0,035481
Punto 3 Descanso	84,5	0,028184
Punto 1 Clase	65,1	0,006310
Punto 2 Clase	74,8	0,035481

Tabla 30. Exposición Sonora del Ruido Interior.

Estos resultados demuestran la energía sonora a la que están expuestos los estudiantes y los docentes en cada sector, además de los valores dependiendo de la actividad realizada por los mismos (clase y descanso) durante la jornada en la que se tomó una muestra de nivel de ruido. Como se puede observar los momentos y lugares donde se percibe mayor energía sonora son el tiempo de descanso en la segunda planta, seguido por la salida de la jornada de la mañana y el ingreso de la jornada de la tarde.

En la siguiente tabla se muestran los resultados generales donde se observa con claridad los niveles máximos y mínimos que se registraron además de los picos que se exploraron, entre otros parámetros.

Punto 1 Descanso

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unid	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
07/03/2007	09:15'48	1	A	00:15'00	dB	105,8	66	93,9	77,7	78	104,8
07/03/2007	09:15'48	2	C	00:15'00	dB	104,6	70,2	93,5	81,7	80,9	107,7
07/03/2007	09:15'48	3	Lin	00:15'00	dB	104,6	70,7	93,6	81,9	81,3	108,1

Punto 2 Descanso

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unid	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
07/03/2007	09:26'22	1	A	00:15'00	dB	107,1	74,7	95,8	87	85,5	112,3
07/03/2007	09:26'22	2	C	00:15'00	dB	108,1	76,8	95,2	88,9	87,5	114,3
07/03/2007	09:26'22	3	Lin	00:15'00	dB	109,6	77,1	96,7	89	87,8	114,6

Punto 3 Descanso

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unid	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
07/03/2007	09:35'04	1	A	00:15'00	dB	109,7	72	98,6	85,1	84,5	111,3
07/03/2007	09:35'04	2	C	00:15'00	dB	108,2	74,8	97	86,6	86,2	113
07/03/2007	09:35'04	3	Lin	00:15'00	dB	108,6	75,3	97,6	86,7	86,5	113,3

Punto 1 Clase

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unid	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
07/03/2007	10:54'36	1	A	00:15'00	dB	104,7	56,3	83,1	62,4	65,1	97,1
07/03/2007	10:54'36	2	C	00:15'00	dB	102,8	62,1	88,7	68,2	70,7	102,7
07/03/2007	10:54'36	3	Lin	00:15'00	dB	105,1	63	89	71,2	71,7	103,7

Punto 2 Clase

Fecha	Inicio	Perfil	Filtro	Duración	unid	Pico	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
07/03/2007	11:21'16	1	A	00:15'00	dB	105,4	57,5	97,4	69,5	74,8	105,8
07/03/2007	11:21'16	2	C	00:15'00	dB	105	63,9	97,5	77,2	77,6	108,6
07/03/2007	11:21'16	3	Lin	00:15'00	dB	106,9	64,9	97,5	80,1	78,5	109,5

Tabla 31. Resultados Generales de Mediciones del Ruido Interior.

Según la resolución 0627 del 7 de abril del 2006 las instituciones educativas pertenecen al sector B de tranquilidad y ruido moderado. En la tabla de valores permisibles de emisión (Ver Anexo B), las instituciones educativas deben emitir Leq 65 dBA diurnos; es decir entre las 7:01am y las 7:00pm y los niveles permisibles de ruido ambiental para este sector son de un nivel equivalente de 65 dBA en el mismo horario diurno.

Según lo anterior y analizando la tabla 9 solo el punto 7 está próximo a estar dentro de la norma con un nivel equivalente de 65.1 dBA, eso teniendo en cuenta que la fuente de ruido es el colegio, de igual forma si se contempla la comunidad adyacente al colegio como el receptor, solo este está dentro de los parámetros vigentes. Por lo tanto es necesario encontrar una solución que no solo controle el ruido exterior del colegio sino que también funcione para el ruido emitido por los alumnos y las distintas actividades que se realizan en el establecimiento.

Teniendo en cuenta la norma ANSI-ASA S1260: Parte 2 el ruido exterior no debe superar los 35 dB y en este caso en ninguno de los puntos cumple con este criterio ya que todos se encuentran sobre los 70 dB.

5.3.3. Ruido de fondo. Estas mediciones se realizaron un día sábado en el horario diurno de 8am hasta 12 m, donde no se llevaba a cabo ninguna actividad académica ni extra curricular en la institución. Las mediciones se desarrollaron en tres salones de diferente zona de la institución de acuerdo con los niveles de ruido que hay en cada una de ellas.



Figura 54. Ubicación de los tres salones y puntos de medición.

Inicialmente se mide los niveles del ruido actual que afecta a los salones que se tomaron como muestra con el fin de saber la contribución de ruido en estos salones y también para identificar qué relación señal ruido se encuentra en estos.

RUIDO DE FONDO DE LOS SALONES dBA			
f[Hz]	SALON 1	SALON 2	SALON 3
31,5	25,1	23	26,6
63	41,6	37,2	40,4
125	46,2	39,5	44,5
250	50,4	43,9	45,7
500	58,4	50,3	47,9
1000	59,6	50,5	47,4
2000	56,4	49,1	42,4
4000	50,4	42,8	35,4
8000	39,3	34,5	30
16000	28,6	28,04	27,8

TOT A	63,5	55,4	53,1
TOT C	69,9	64,7	66,9
TOT Lin	70,9	66,4	67,8

Tabla 32. Ruido de fondo.

Según estos resultados se prosigue a comparar con los criterios de ruido y con la norma IRAM 4070 obteniendo los siguientes resultados.

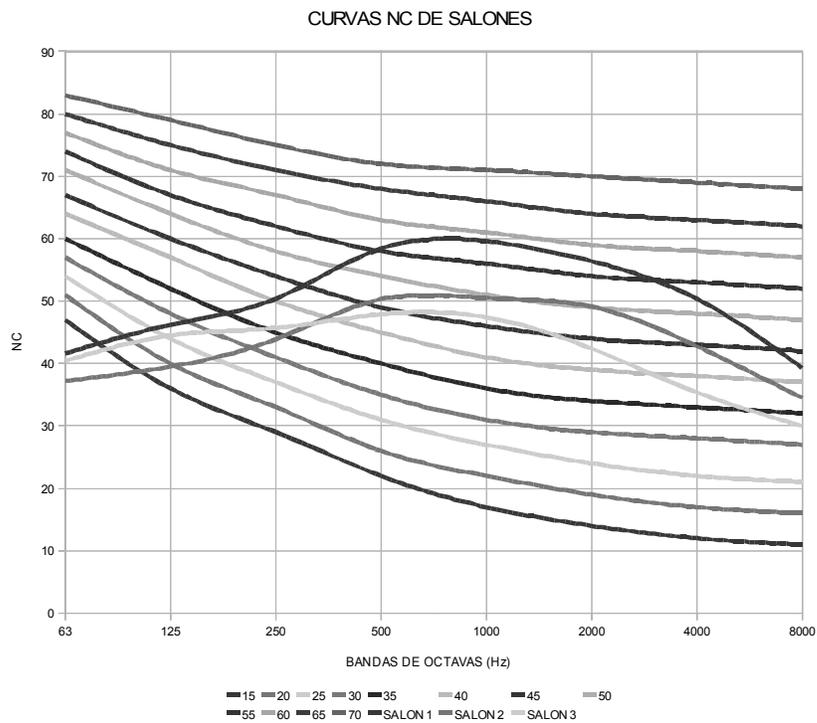


Figura 55. Criterio NC de cada salón.

Con la anterior gráfica se llega a la conclusión que el salón 1 tiene un NC 60 seguido del del salón 2 con un NC 55 y por ultimo el salón 3 con un NC 50. Según el NC recomendado por la norma para un salón de clase esta entre un NC 25-30, como se puede observar ninguno de los salones esta próximo a la curva sugerida.

Si se tiene en cuenta la norma ANSI-ASA S12.60 el nivel ideal de ruido de fondo para volúmenes menores a 566,34 m³ actualmente no debe ser superior a los 41 dBA pero a partir del año 2013 este no puede sobrepasar los 38 dBA lo cual no se cumple para los salones por que el salón 1 tiene 63,5 dBA, el salón 2 55,4 dBA y por ultimo el salón 3 con 53,1 dBA lo anterior confirma que el sector se compone de niveles muy altos y perjudiciales para el aprendizaje de los estudiantes de la institución según la normativa.

5.3.4 Aislamiento. Los procedimientos se encuentran en la Norma Internacional de medidas acústicas ISO-140, en materia de aislamiento acústico. La Norma especifica que se han de recoger al menos 5 medidas en 5 posiciones diferentes, cumpliendo lo siguiente:

- Al menos 0.7 m de separación entre cada posición de micrófono.
- Al menos 0.7 m de separación entre cualquier posición de micrófono y alguna superficie limitadora de la sala
- Al menos 1 m de separación entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora
- Al menos 1 m de separación entre cualquier posición de micrófono y la estructura sometida a test.

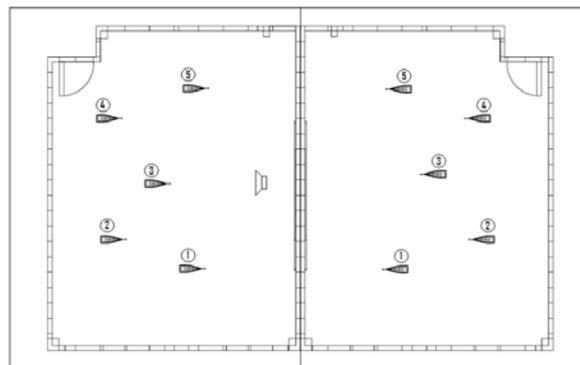


Figura 56. Puntos de medición de aislamiento según ISO 140-4.

La Figura se muestra la configuración en cuanto a posiciones de la fuente sonora omnidireccional y el equipo de medición el sonómetro Svantek 943A Tipo 2 en dos salones separados por una pared de ladrillo. La medida en cada salón se realiza en diversas posiciones con el fin de evaluar el valor cuadrático medio de la presión

sonora promediado espacialmente en cada recinto. Si se dispone de un solo micrófono o sonómetro deberá desplazarse de posición en posición, almacenar cada medida para posteriormente realizar el promediado; conviene contar con un equipo de medida que almacene estos resultados y facilite la labor de los cálculos de aislamiento.

Las mediciones de aislamiento se llevaron a cabo siguiendo las indicaciones de la norma ISO 140 -4 e ISO 140-5, obteniendo los siguientes resultados.

Salón 1. En este salón no fue posible realizar las mediciones correspondientes al aislamiento debido a que no se tiene acceso al salón de profesores ni al laboratorio de informática, además el espacio que hay en el corredor es muy pequeño y no era posible ubicar la fuente como lo recomienda la norma. Tampoco existe otro salón con las mismas características que este lo cual hace que para el diseño de este salón se tomaran en cuenta los cálculos teóricos y los análisis de los otros dos salones.

Debido a lo anterior se toma como alternativa hacerlo por cálculos teóricos por medio del método de Barrón (Ver cálculos teóricos)

Salón 2. Las mediciones se realizaron en los dos salones adyacentes como se ilustra en la figura y en el corredor, en este último solo fue posible tomar dos puntos debido a la longitud del corredor. (Ver planos de cada muro en cálculos teóricos)

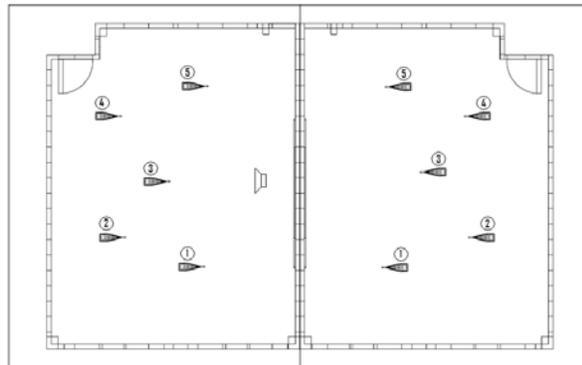


Figura 57. Puntos de medición salón 2.

Los resultados de la medición de este salón se muestran a continuación.

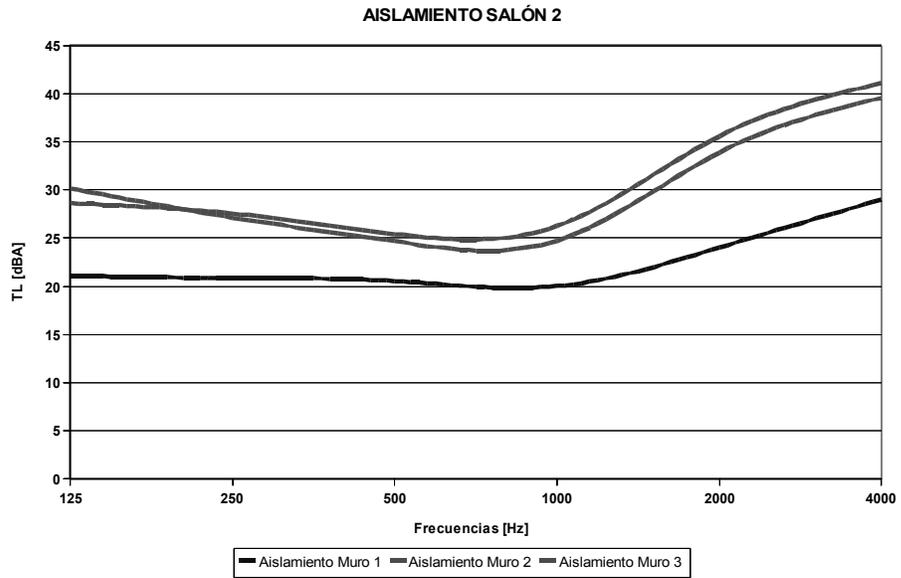


Figura 48. Aislamiento salón 2.

Salón 3. Para el tercer salón las mediciones de la pared que da a la calle se limitaron solo a dos mediciones debido al espacio que hay entre el colegio y las casas vecinas. (Ver planos de cada muro en cálculos teóricos).

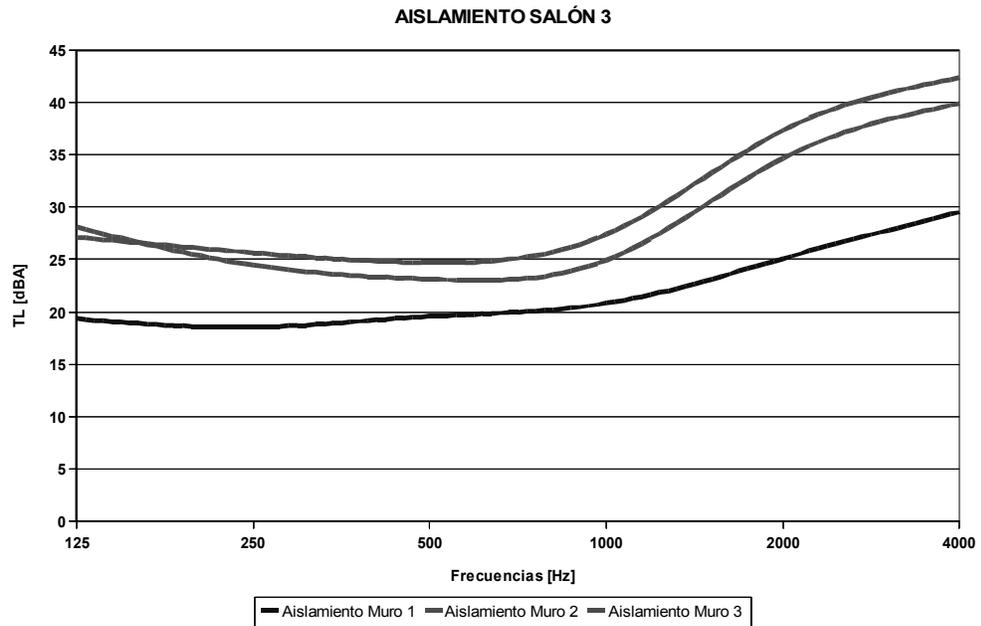


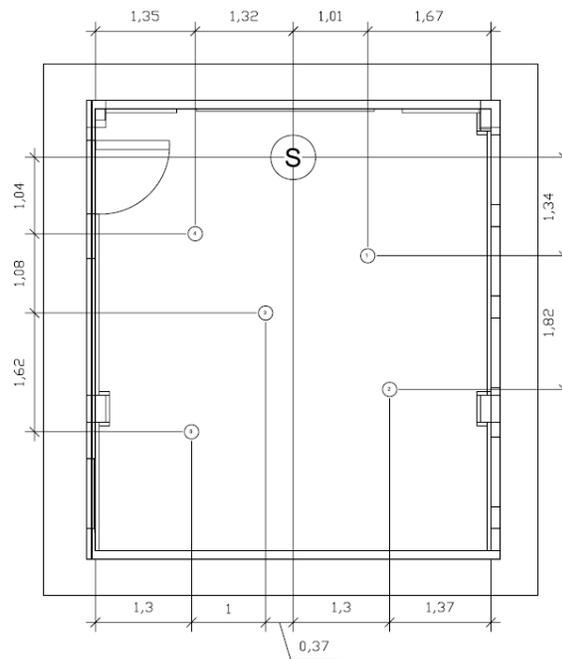
Figura 59. Aislamiento salón 3.

5.3.5. Tiempo de reverberación. Las mediciones de RT60 se llevaron a cabo cumpliendo con la norma ISO 3382. Estas mediciones se ejecutaron en los tres salones cada uno ubicado en distintos sectores según como se ve afectado por el nivel de ruido, los cuales son también diferentes en cuanto a su forma arquitectónica.

En las figuras se especifica la ubicación de los puntos en cada salón y sus estados para la medición fueron desocupadas. Se midió con ruido impulsivo emitido por bombas y para la captación de la señal el sonómetro Svan 943 A tipo 2. Como los salones son pequeños se tomaron los puntos al azar dejando el micrófono y el sonómetro a una altura de 1.2 mts separado de la fuente 2mts.

En cuanto al tiempo de reverberación también están fuera de la norma americana ya que en el primer salón encontramos un tiempo de reverberación de 1,3 seg seguido de 1,1 seg del segundo salón y del tercer salón tenemos 1,6 y la norma sugiere que sea no mayor a 0,6 seg en espacios pequeños.

Salón 1. En la siguiente figura se observan las posiciones para las mediciones en este salón.



SALON 1

Figura 60. Puntos de Medición del salón 1 para tiempo de reverberación.

Se procede a medir el tiempo de reverberación usando el sonómetro en ponderación lineal con ruido interrumpido. A continuación se ilustran los resultados promedio en cada punto.

Los resultados para cada banda de octava en cada salón se pueden observar en la siguiente gráfica seguida de la tabla.

f[Hz]	Primer Punto			Segundo Punto			Tercer Punto			Cuarto Punto			Quinto Punto			Promedio Punto		
	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]
31,5	2,678	-	-	1,921	-	-	9,534	-	-	-	-	-	1,544	-	-	3,919	-	-
63	1,934	2,599	-	0,405	7,654	-	1,097	11,956	-	3,161	5,527	-	1,400	16,524	-	1,599	8,852	-
125	0,964	1,483	2,079	1,002	1,401	-	0,640	1,417	2,000	1,097	1,566	1,862	1,287	1,898	-	0,998	1,553	1,980
250	0,736	1,209	1,189	1,014	1,673	1,513	1,191	1,451	1,952	0,555	1,402	1,538	0,492	1,569	1,504	0,798	1,461	1,539
500	0,300	1,171	1,207	0,794	1,298	1,435	0,953	1,465	1,389	0,699	1,501	1,449	0,947	1,463	1,517	0,739	1,380	1,399
1000	0,468	1,009	1,138	0,702	1,325	1,428	0,663	1,361	1,332	0,586	1,409	1,424	0,786	1,318	1,453	0,641	1,284	1,355
2000	0,472	1,152	1,175	0,587	1,190	1,227	0,538	1,128	1,216	0,543	1,120	1,544	0,469	1,154	1,139	0,522	1,149	1,260
4000	0,304	0,988	0,980	0,245	0,971	0,946	0,293	0,897	0,884	0,246	0,854	1,454	0,246	0,920	0,901	0,267	0,926	1,033
8000	0,180	0,771	0,802	0,116	0,751	0,716	0,061	0,693	0,734	0,061	0,713	0,712	0,000	0,760	0,735	0,084	0,738	0,740
TOTAL	0,423	1,144	1,166	0,676	1,278	1,388	0,779	1,397	1,413	0,590	1,435	1,544	0,608	1,359	1,400	0,615	1,323	1,382

Tabla 33. Tiempos de reverberación del salón 1.

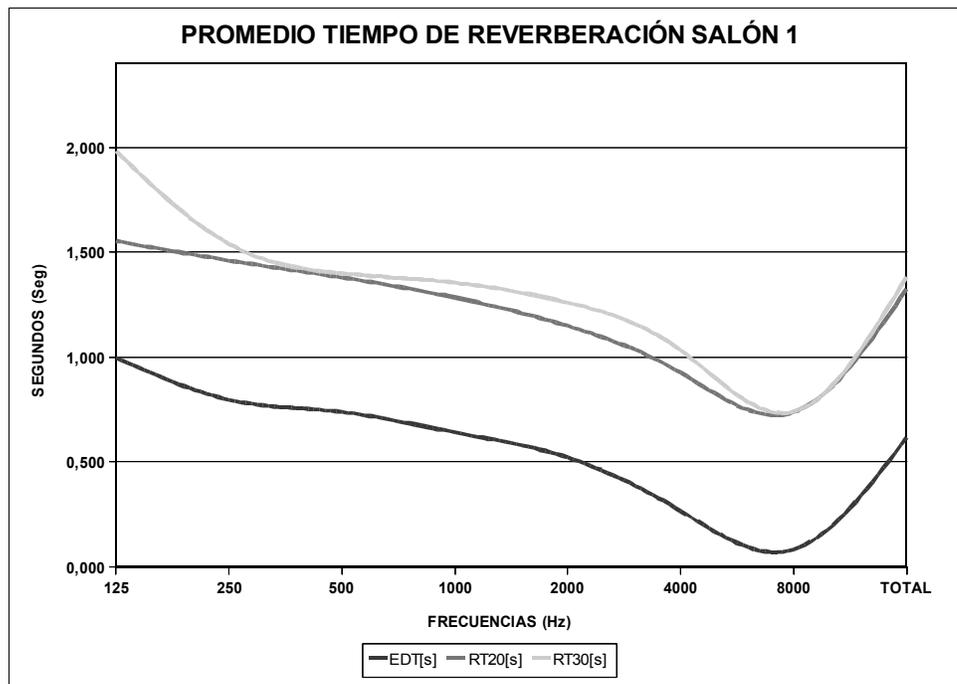
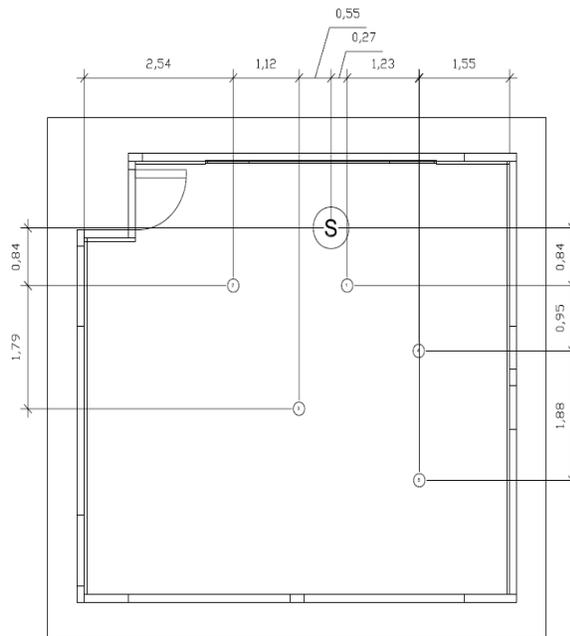


Figura 61. Tiempo de reverberación del salón 1.

Al observar los resultados de las mediciones se analiza cada banda de frecuencias lo cual llega a la conclusión que en este caso las frecuencias bajas tienen un alto tiempo de reverberación especialmente 125Hz lo cual es

preocupante al infiltrarse ruido de bajas frecuencias del exterior. En general en todas las frecuencias se encuentra un tiempo de reverberación excesivo porque sobre pasa más de 1 segundo y esto no es favorable para la inteligibilidad que requieren los alumnos.

Salón 2. En la siguiente figura se observan las posiciones para las mediciones del segundo salón.



SALON 2

Figura 62. Puntos de Medición del salón 2 para Tiempo de Reverberación.

f[Hz]	Primer Punto			Segundo Punto			Tercer Punto			Cuarto Punto			Quinto Punto			Promedio Punto		
	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]
31,5	2,678	-	-	3,053	-	-	-	-	-	2,455	-	-	1,631	-	-	2,454	-	-
63	1,934	2,599	-	1,797	2,180	-	1,962	2,420	-	1,927	2,116	3,901	1,253	2,195	3,484	1,775	2,302	3,693
125	0,964	1,483	2,079	0,791	1,018	1,366	1,060	1,032	1,446	0,647	1,426	1,576	0,723	1,481	1,688	0,837	1,288	1,631
250	0,736	1,209	1,189	0,907	1,250	1,244	0,410	1,001	1,073	0,548	1,259	1,259	0,254	1,368	1,277	0,571	1,217	1,208
500	0,300	1,171	1,207	0,543	1,165	1,231	0,644	1,269	1,224	0,442	1,260	1,197	0,431	1,272	1,196	0,472	1,227	1,211
1000	0,468	1,009	1,138	0,490	1,105	1,095	0,422	1,084	1,099	0,433	1,030	1,065	0,535	1,119	1,156	0,470	1,069	1,111
2000	0,472	1,152	1,175	0,592	1,144	1,139	0,548	1,146	1,154	0,539	1,069	1,100	0,602	1,158	1,179	0,551	1,134	1,149
4000	0,304	0,988	0,980	0,371	0,951	0,967	0,297	0,961	0,933	0,361	0,948	0,959	0,353	0,932	0,940	0,337	0,956	0,956
8000	0,180	0,771	0,802	0,231	0,768	0,779	0,183	0,795	0,773	0,173	0,779	0,804	0,183	0,800	0,779	0,190	0,783	0,787
TOTAL	0,423	1,144	1,166	0,492	1,090	1,131	0,492	1,134	1,151	0,420	1,088	1,082	0,472	1,248	1,164	0,460	1,141	1,139

Tabla 34. Tiempo de reverberación del salón 2

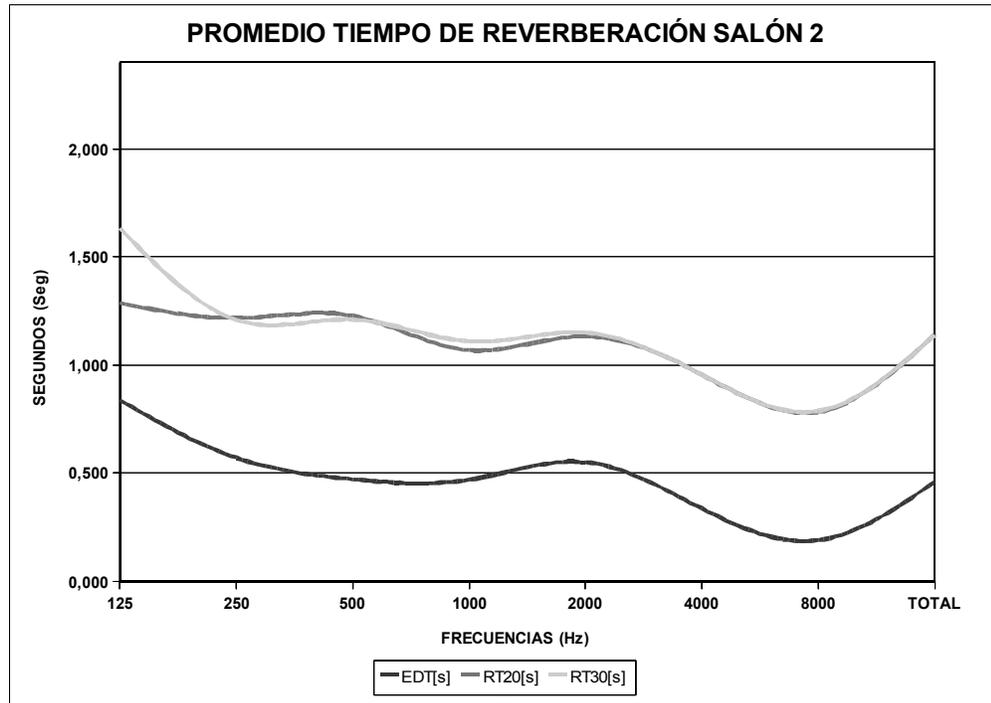


Figura 63. Tiempo de reverberación del salón 2.

En este salón se observa el mismo comportamiento que el anterior un tiempo de reverberación muy excesivo especialmente en 125 Hz lo cual me hace llegar a la conclusión que es debido a los materiales de construcción ya que es lo único similar en estos salones y sus valores varían según el volumen de cada uno.

Salón 3.

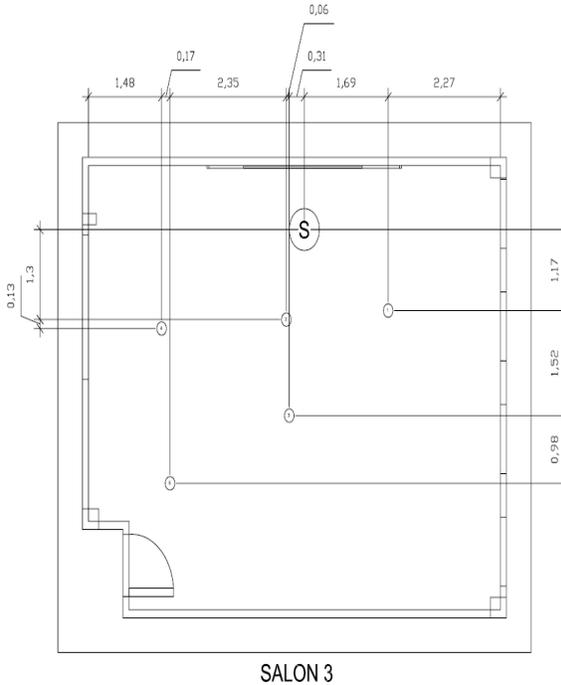


Figura 64. Puntos de Medición del salón 3 para tiempo de reverberación.

f[Hz]	Primer Punto			Segundo Punto			Tercer Punto			Cuarto Punto			Quinto Punto			Promedio Punto		
	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]	EDT[s]	RT20[s]	RT30[s]
31,5	1,272	1,416	-	-	-	-	3,029	-	-	3,579	-	-	3,484	-	-	2,841	1,416	
63	1,390	1,150	2,539	2,001	4,612	8,020	2,895	5,220	20,295	2,696	3,325	-	6,012	2,073	-	2,999	3,276	10,285
125	0,642	1,439	2,001	1,080	2,211	2,405	1,230	1,971	1,806	1,839	1,759	2,038	1,258	1,990	2,845	1,210	1,874	2,219
250	1,303	1,751	1,786	0,928	1,358	1,414	1,419	1,734	1,803	1,183	1,636	1,591	0,674	1,367	1,736	1,101	1,569	1,666
500	1,054	1,806	1,665	1,253	1,925	1,826	1,329	1,848	1,871	1,180	1,818	1,793	1,195	1,796	1,776	1,202	1,839	1,786
1000	1,391	1,862	1,878	1,181	1,913	1,863	1,216	1,761	1,852	1,203	1,932	1,847	1,354	1,762	1,896	1,269	1,846	1,867
2000	0,968	1,659	1,677	0,991	1,544	1,511	0,938	1,461	1,491	1,015	1,621	1,539	0,914	1,533	1,563	0,965	1,564	1,556
4000	0,656	1,203	1,158	0,579	1,251	1,229	0,669	1,176	1,235	0,589	1,237	1,204	0,593	1,165	1,245	0,617	1,206	1,214
8000	0,236	0,917	0,934	0,295	0,901	0,908	0,237	0,883	0,928	0,356	0,918	0,946	0,294	0,860	0,929	0,284	0,896	0,929
TOTAL	0,900	1,734	1,709	0,989	1,642	1,702	0,925	1,562	1,616	1,029	1,719	1,694	1,006	1,697	1,750	0,970	1,671	1,694

Tabla 35. Tiempo de reverberación del salón 3.

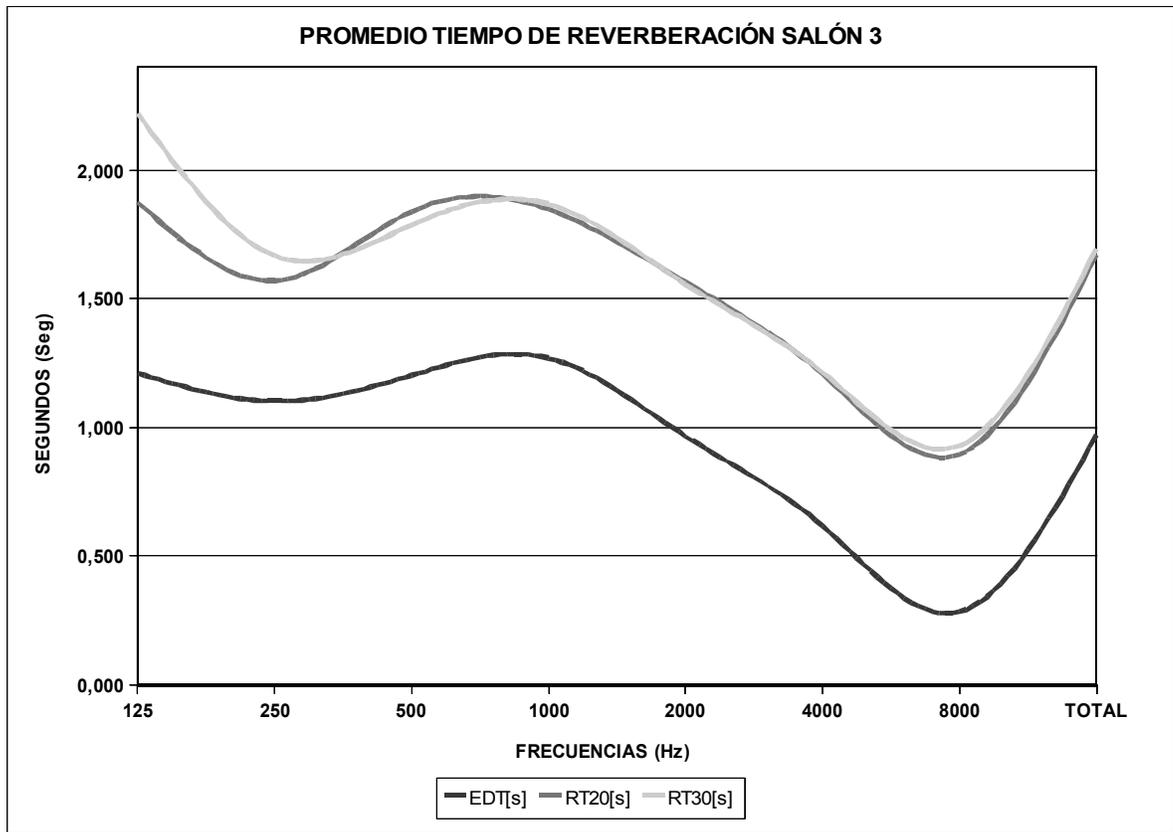


Figura 65. Tiempo de reverberación del salón 3

Este salón es el más grande de los tres lo cual hace que tenga un tiempo de reverberación aun más excesivo que los anteriores, lo cual presenta el mismo problema en 125Hz seguido de 1Khz lo cual es preocupante ya que es uno de los componentes de la voz humana y puede interferir en la inteligibilidad de este recinto.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ANSI-ASA S1260: Parte 2 el tiempo de reverberación en las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz no deben superar los 0,5 segundos pero en caso de estos tres salones ninguno cumple con esto ya que todos sobrepasan mas de 1 seg.

5.3.6 Campo sonoro y distancia crítica. Para medir la distancia crítica se ubicó una fuente omnidireccional en el centro de cada salón a una distancia de 0.5mts del tablero. Se tomó varias muestras del nivel de presión a medida que se alejaba de esta. Esto con el fin de ver como el nivel de presión sonora se comportaba en cada punto y así poder identificar el campo directo, el campo reverberante y finalmente la distancia crítica de cada uno de los salones.

Campo Sonoro Salón 1

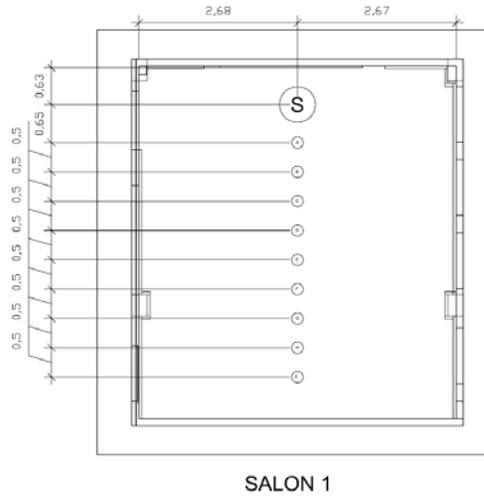


Figura 66. Puntos de medición del Salón 1 para Campo Sonoro.

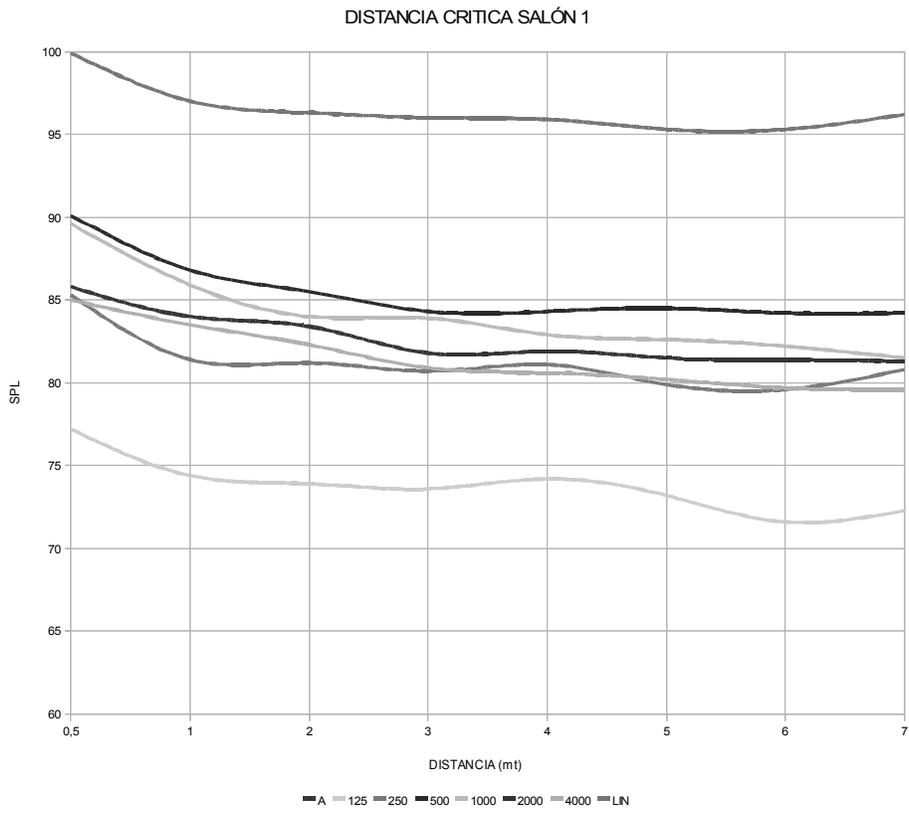


Figura 67. Campo sonoro del salón 1.

Campo Sonoro Salón 2

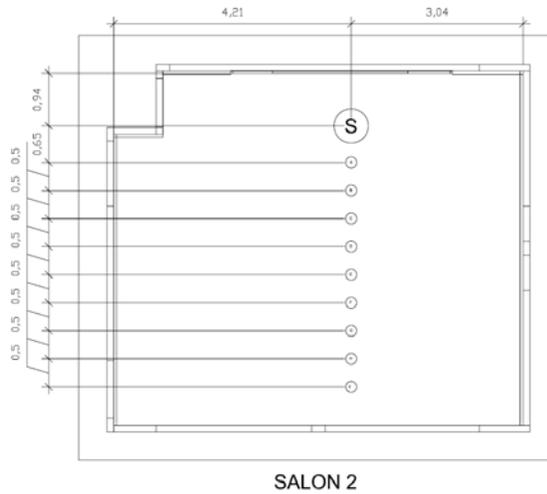


Figura 68. Puntos de medición del Salón 2 para Campo Sonoro.

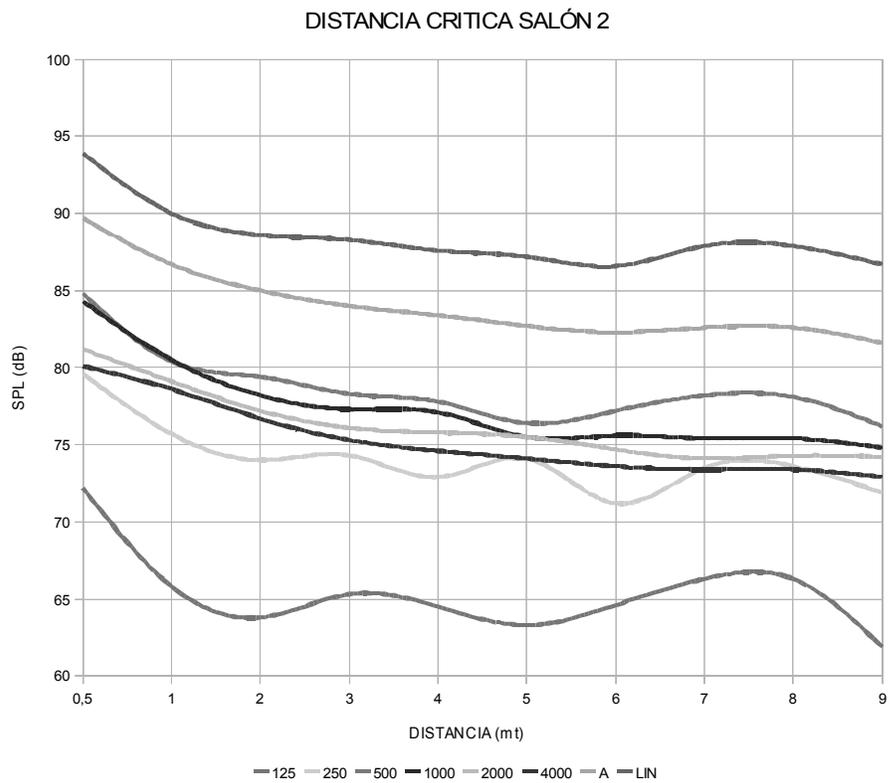


Figura 69. Campo sonoro del salón 2.

Campo Sonoro Salón 3.

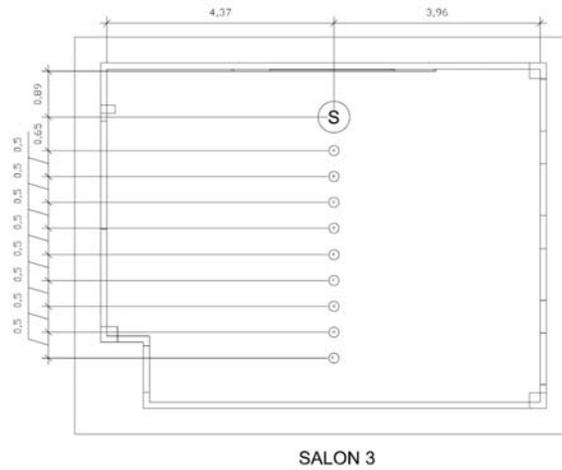


Figura 70. Puntos de medición del Salón 3 para Campo Sonoro.

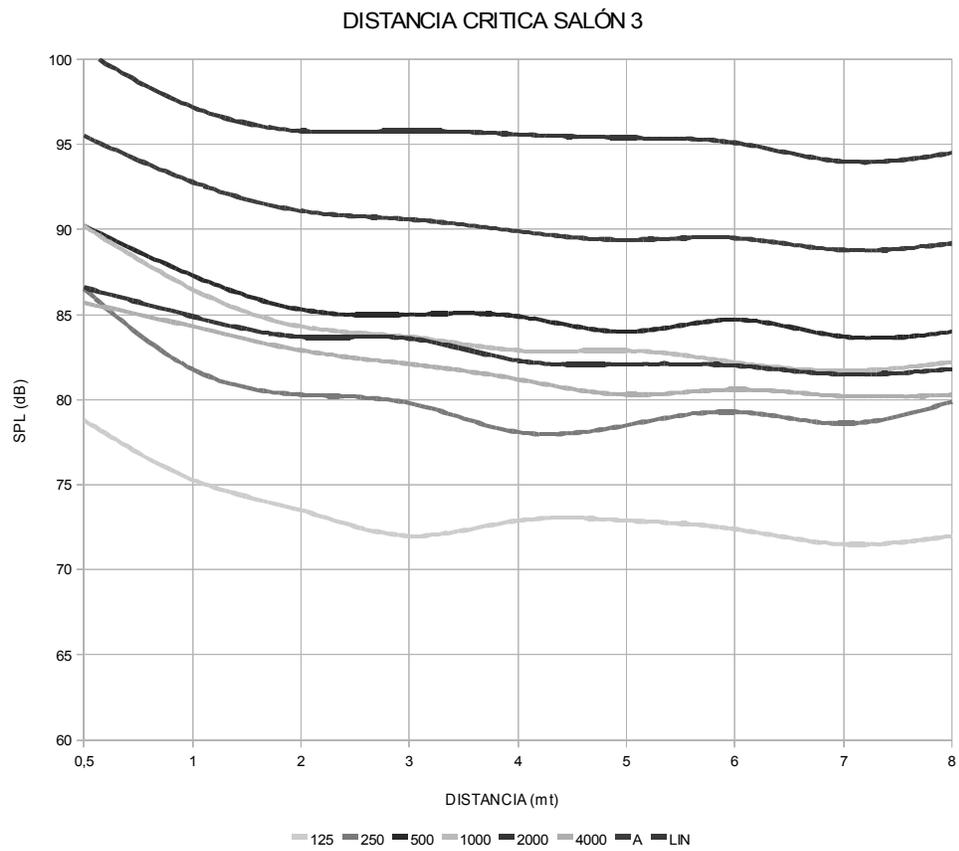


Figura 71. Campo sonoro del salón 3.

5.3.7. Inteligibilidad de la palabra. La inteligibilidad se mide a través del índice de pérdida de articulación, que indica el porcentaje de aciertos en la comprensión de una cantidad de emisiones vocales. Se observa que a partir de 35 a 40 dBA de ruido ambiente los índices de articulación empiezan a disminuir junto con el índice silábico siendo este menor que el de palabras y que el de frases. Es decir, en una condición dada, se entienden más las frases completas que las palabras o las sílabas sueltas. Esto se debe a que la variedad de sílabas sueltas es mucho mayor que la de palabras o frases. Virtualmente cualquier combinación de consonantes y vocales da una sílaba válida, pero no cualquier combinación de sílabas es una palabra válida. Por ejemplo, “caza” podría confundirse con “cafa”, pero como ésta no es una palabra válida, el sujeto se decide por “caza”. Análogamente, no toda combinación de palabras de una frase correcta, tanto en su sintaxis como en su sentido. Al decir “ese hombre caza conejos”, la palabra “caza” podría confundirse con “casa”, “caja”, “cafa”, “taza”, “tasa”, “tafa”, etc. Sin embargo, la única palabra válida y que da sentido a la frase es “caza”. Para hallar el porcentaje de inteligibilidad se usa el método por índice de pérdida de articulación por palabras, se llevo a cabo con una persona mayor del género masculino que leía palabras fonéticamente balanceadas del Dr. Tato (ver anexo D) a los alumnos de género masculino y femenino, en un rango de edad entre los 11 y 18 años, de los cursos sexto, octavo y onceavo de bachillerato. En cada salón los alumnos escribían las palabras según lo que entendían. Al finalizar se analizaron cada uno de resultados y se determino el porcentaje de inteligibilidad y ALcons por medio de la formula:

$$\% IL = 100 - \% Alcons \text{ (56)}$$

Según esto se obtuvo:

Salón 1 % Alcons: 3.84	Inteligibilidad Buena
Salón 2 % Alcons: 10.19	Inteligibilidad Pobre
Salón 3 % Alcons: 6.48	Inteligibilidad Buena

Las consonantes que más se confunden en los salones son:

L por n
 D por b, p y t
 N por m y t
 T por c y d
 P por b y f
 B por d, f y t
 C por s

La mayoría de docentes son mujeres las cuales no manejan un mismo nivel de voz por lo tanto estos resultados son validos para cuando el orador es masculino y maneje un buen nivel de voz.

5.4 ANÁLISIS DE DATOS.

5.4.1 Salón 1

Aislamiento

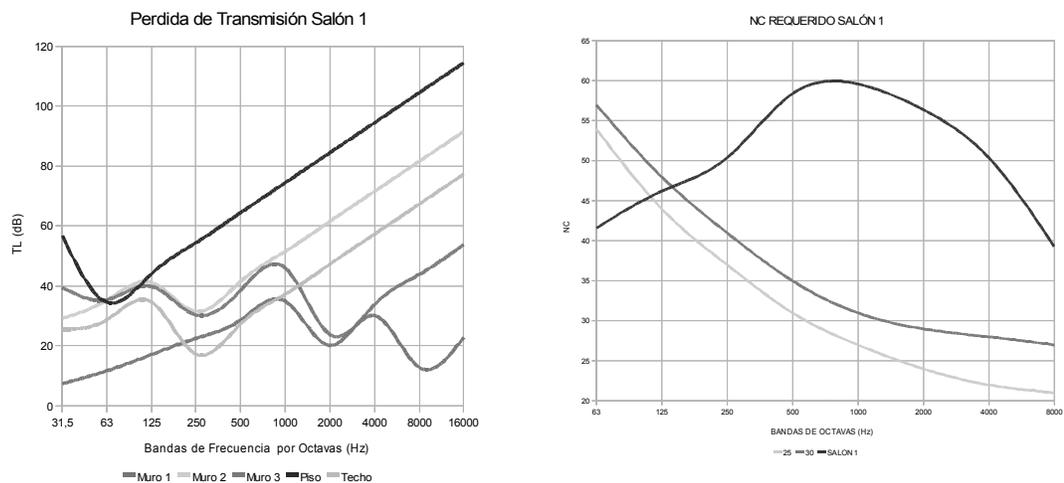


Figura 72. Perdida de transmisión calculado y ruido de fondo salón 1.

Al observar las gráficas del aislamiento calculado del salón 1 se encuentra que los materiales que lo componen no son los ideales para el aislamiento que requiere el área. Además su aislamiento actual es mucho menor porque la construcción inicial no fue la correcta ya que se puede observar pequeños haces de luz entre las paredes y los marcos de las ventanas y puertas. Las ondas sonoras al encontrarse con este tipo de fisuras desarrollan el fenómeno conocido como difracción.

Según la norma IRAM 4070 el límite de ruido para aulas sin personas debe estar entre NC 25-30 pero a partir de la banda de frecuencia de 125 Hz el ruido de fondo actual sobre pasa los niveles requeridos con un NC de 60 y según la Norma ASA S12.60 Parte 2 para espacios con volumen menor o igual a 283 m³ no deben sobre pasar un Leq de 41dBA en su interior y en este caso se obtiene 63,5 dBA lo que indica que el salón no se encuentra dentro de las normas mencionadas.

En este caso el salón requiere de un aislamiento en los muros 1 y 3 que son los que presentan un aislamiento deficiente y son los que tienen contacto directo con las principales fuentes de ruido exterior. Al ser el área tan pequeña no se puede utilizar mucho espacio para el aislamiento, se puede aplicar muros dobles en los casos críticos con estructura liviana, material absorbente y una pequeña cámara de aire y para las ventanas vidrio doble. En el caso de las paredes 2 y 4 se puede pañetar y pintar las paredes para cubrir los agujeros de estas. Para reforzar el aislamiento se puede aprovechar la parte superior instalando un techo falso con material absorbente entre las tejas y el techo.

Tiempo de reverberación.

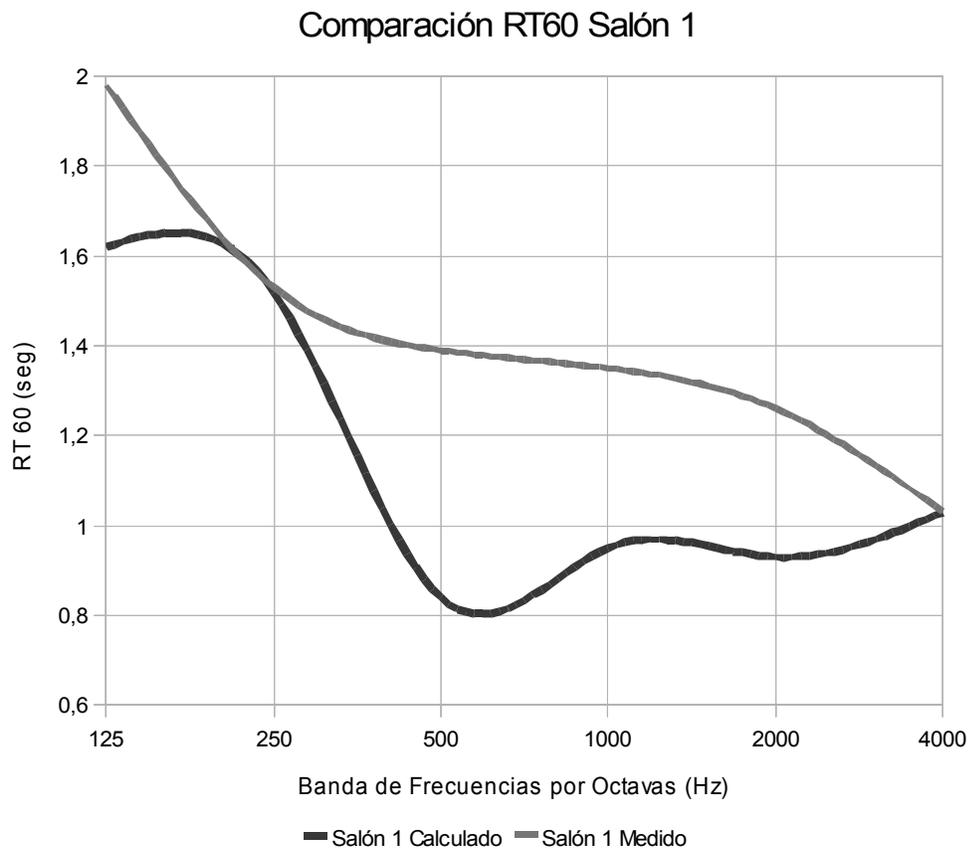


Figura 73. Comparación de tiempos de reverberación salón 1.

En este caso el tiempo de reverberación es más del que se había calculado debido a los volúmenes compartidos que hay entre la sala de profesores, el salón, el laboratorio de informática y el exterior de la institución por el espacio que deja las ondulaciones de las tejas. Aun así para las bandas de 500 Hz, 1000 Hz y 2000

Hz la norma recomienda un tiempo de reverberación de 0,5 seg lo cual en ningún caso se cumple debido a los materiales que componen el salón, porque son materiales duros y por lo tanto muy reflectivos. Como se usará Drywall para el aislamiento, este ayudara a disminuir el tiempo de reverberación. Para que RT60 sea uniforme las ventanas de vidrio y un piso en madera ayudaran a nivelar los tiempos de reverberación.

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN						
FRECUENCIAS (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
DRYWALL 1"	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09

Tabla 36. Coeficientes de absorción Drywall.

Campo sonoro.

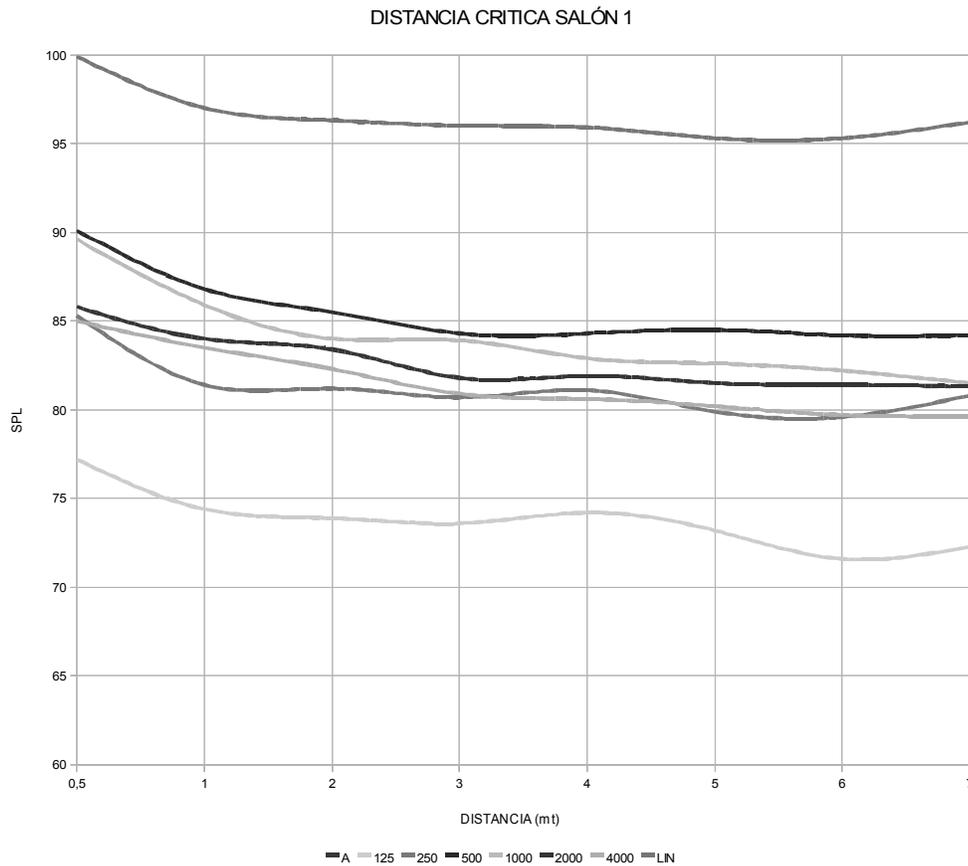


Figura 74. Campo sonoro del salón 1.

El excesivo tiempo de reverberación de este salón hace que el campo directo sea mucho menor que el campo reverberante, lo cual sería aconsejable que el campo directo fuera mayor que el reverberante o al menos equilibrado. Con la solución dada para disminuir el tiempo de reverberación ayudara a modificar la distancia crítica ampliando el campo directo.

Inteligibilidad de la palabra. La inteligibilidad de este salón en los cálculos teóricos fue aceptable, mas en el dictado de palabras el resultado fue bueno, sin embargo al modificar los materiales que componen el salón la inteligibilidad tendrá un cambio. En este tipo de espacios es necesario evitar el fenómeno denominado flutter, siendo esto una reflexión repetitiva entre dos superficies paralelas, por esta razón se inclinaron algunas de las superficies para evitar la presencia de enmascaramiento entre las palabras por las continuas reflexiones. Adicionalmente es posible instalar en la pared posterior un difusor QRD que ayude a unificar las reflexiones, especialmente en las frecuencias medias y altas.

5.4.2 Salón 2.

Aislamiento

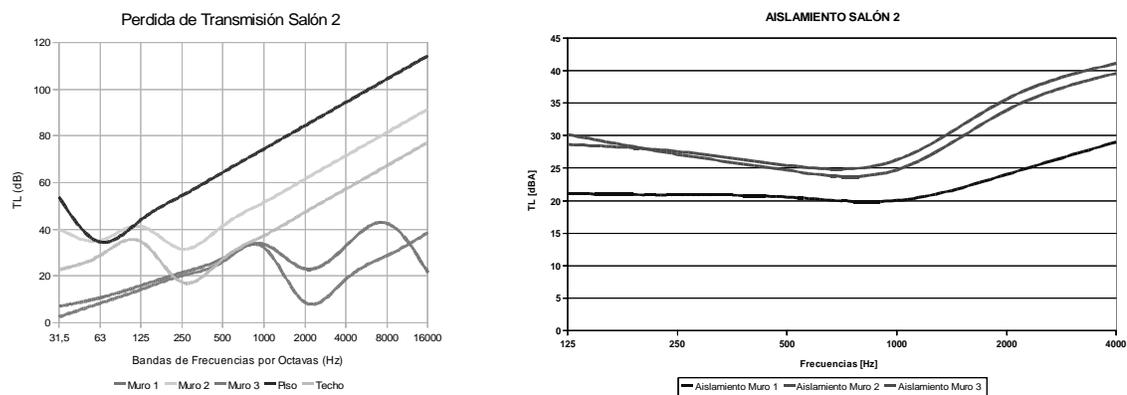


Figura 75. Aislamiento calculado y aislamiento medido del salón 2.

En el salón 2 se ve un aislamientos críticos del muro 1 y 3, muros que separan el área del salón con el exterior de la institución. El aislamiento tiene una caída en las frecuencias medias 500Hz, 1000Hz y 2000Hz para los muros 1 y 3.

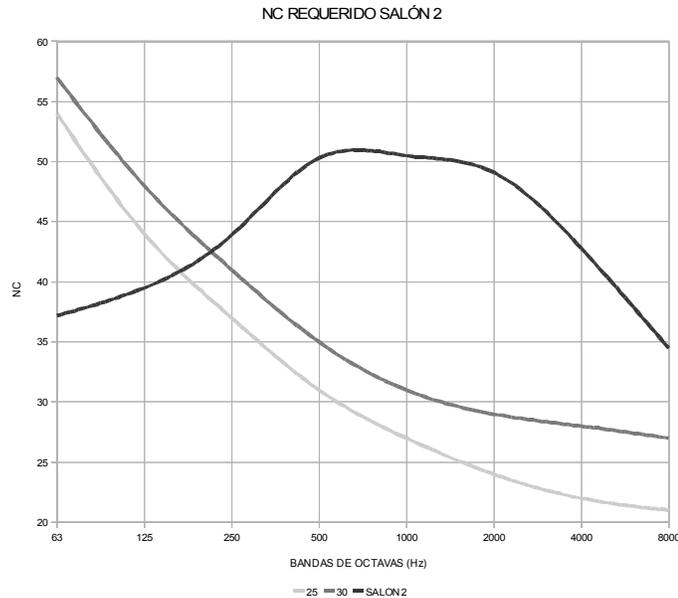


Figura 76. NC requerido para salón 2.

El ruido de fondo de esta área es menor en comparación con el primer salón pero igualmente no cumple con las recomendaciones de la norma. Para este caso se implementa el mismo sistema del primer salón porque se requiere disminuir el ruido en el mismo ancho de banda para lograr un NC 25-30, además de que se encuentra con un nivel equivalente mayor que el recomendado por la norma americana.

Tiempo de reverberación.

Igual que el anterior caso el tiempo de reverberación medido es mayor en las frecuencias medias y altas que el tiempo de reverberación medido por la misma causa de tener volúmenes compartidos con las áreas adyacentes al salón. Para los casos, medido y calculado, ninguno cumple con la norma por lo tanto se requiere disminuir 0,7 seg para 500Hz y 0,6 seg para las bandas de 1000Hz y 2000Hz con el fin de obtener los valores que sugiere la norma ASA S12.60.

Gracias a los materiales usados para el aislamiento ayuda para que el tiempo de reverberación disminuya mas de lo requerido, pero con las ventanas se puede obtener un tiempo óptimo.

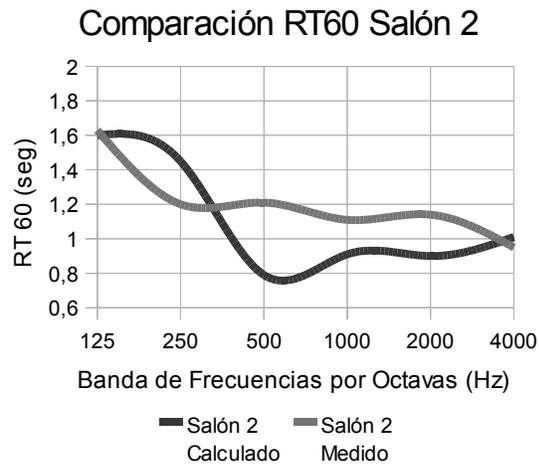


Figura 77. Comparación de RT60 del salón 2.

Campo sonoro.

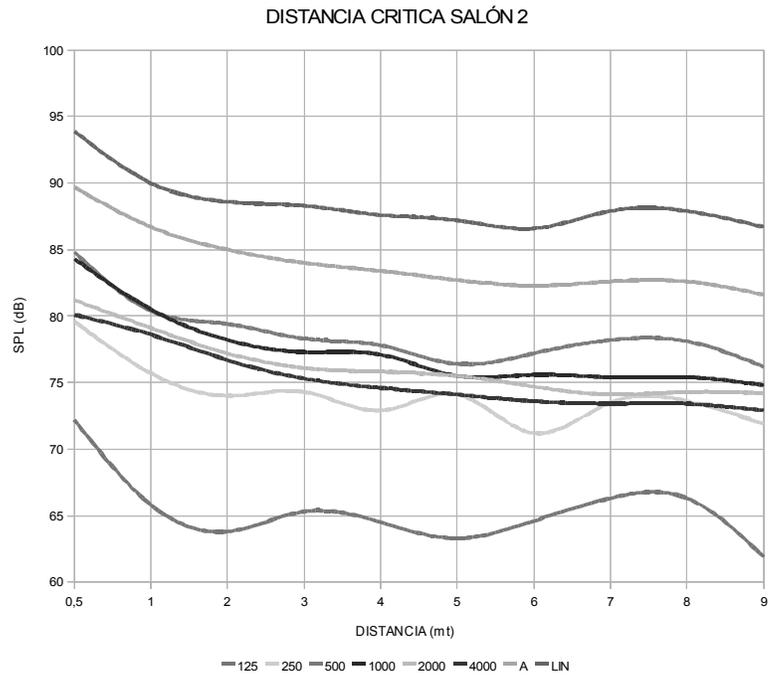


Figura 78. Campo sonoro salón 2.

La distancia critica de este salón esta cercana a la fuente sonora por lo que el campo directo es menor a el campo reverberante por los niveles elevados de

tiempo de reverberación lo cual al disminuir ayudara a trasladar la distancia critica y aumentar el campo directo.

Inteligibilidad de la palabra. Según los cálculos teóricos y el dictado de palabras este salón tiene una inteligibilidad pobre por los niveles excesivos de rt_{60} y por el bajo nivel de aislamiento de este. Con un buen sistema de aislamiento y tiempos de reverberación óptimos ayudara a que el indice de inteligibilidad sea el correcto.

5.4.3 SALÓN 3

Aislamiento.

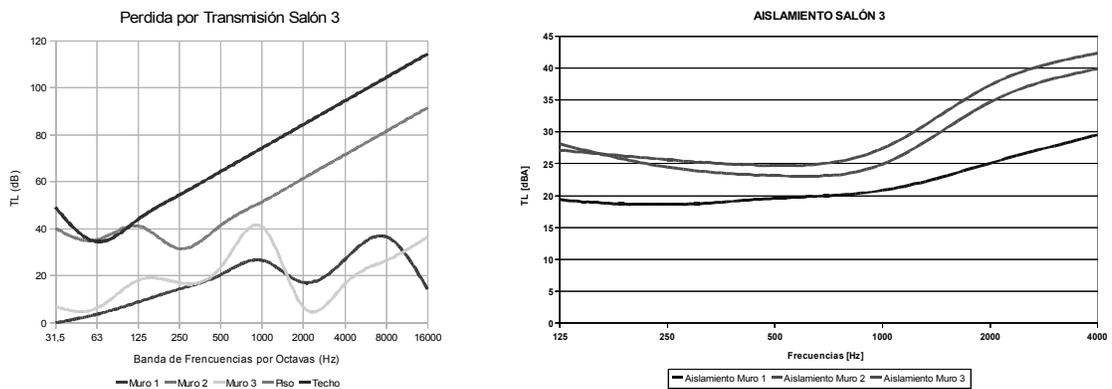


Figura 79. Aislamiento calculado y aislamiento medido salón 3.

Al igual que los casos anteriores el salón 3 presenta un aislamiento muy bajo en los muros 1 y 3 debido a que sus componentes como las puertas y ventanas permiten la filtración del ruido exterior.

Como se puede observar en la siguiente gráfica el ruido de fondo sobre pasa las curvas NC 25 -30 a partir de la frecuencia de 125 Hz al igual que los casos anteriores clasificándose para un NC 50 y su Leq es de 53,1 dBA sobre pasando los estándares de la norma americana .

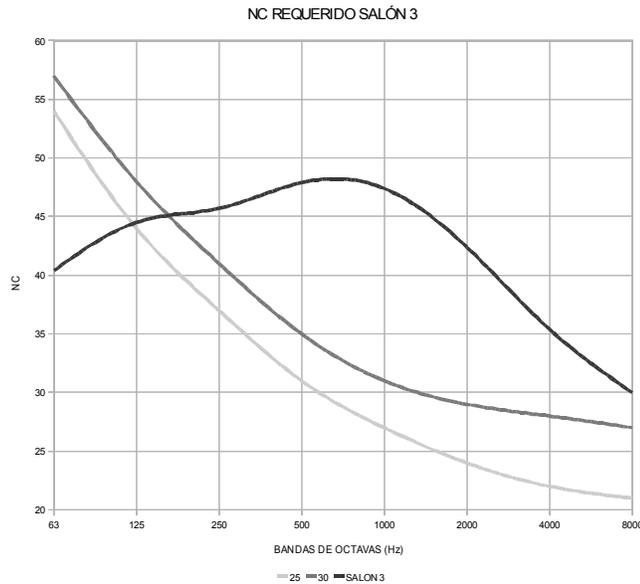


Figura 80. NC requerido para salón 3.

Como en los dos salones anteriores se refuerza el aislamiento de los dos muros críticos con estructura liviana con una pequeña cámara de aire y material poroso con doble vidriado de diferentes espesor.

Tiempo de reverberación.

En este caso no se presentan filtraciones por las tejas como en los casos anteriores pero aun así presenta un elevado tiempo de reverberación fuera de los valores recomendados por la norma. Esto es debido a los materiales reflectivos que componen esta sala. Con el drywall de la estructura liviana de las paredes y con las otras paredes frontal y posterior empañetadas y pintadas ayudaran a nivelar el RT60.

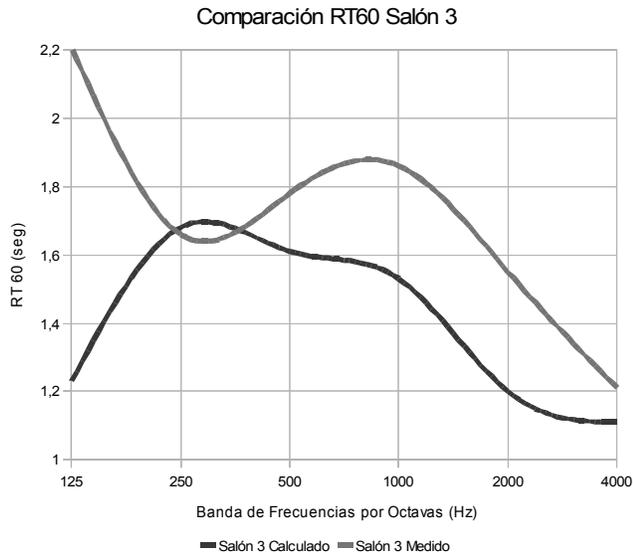


Figura 81. Comparación de RT60 del salón 3.

Campo sonoro.

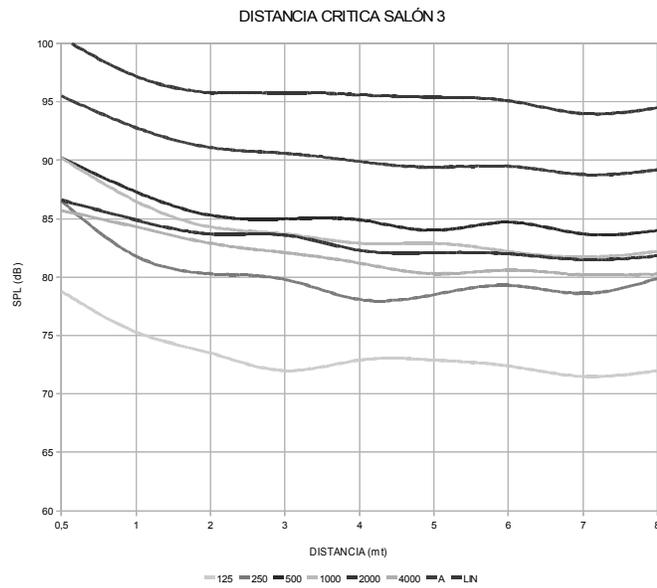


Figura 82. Campo sonoro del salón 3.

Al cambiar el aislamiento y el tiempo de reverberación del salón también cambiara el campo sonoro desplazando la distancia critica y ampliando un poco mas el campo directo.

Inteligibilidad de la palabra. Según los cálculos y el dictado de palabras esta sala al igual que la primera presenta una inteligibilidad entre aceptable y buena. Pero al tener paredes paralelas se puede presentar el fenómeno de flutter mencionado con anterioridad lo cual puede tener consecuencias en la inteligibilidad del mensaje que se esta transmitiendo, para evitar este tipo de fenómenos siempre es aconsejable inclinar algunas superficies y usar difusores.

5.5 DISEÑO DE MODELOS.

A partir de los resultados obtenidos en las mediciones y del análisis de datos, se procede a diseñar las soluciones de aislamiento y acondicionamiento para mejor la calidad de los factores acústicos de los salones. Para esto se realizó el modelo en Autocad (ver en anexos planos y detalles del diseño) y se desarrollaron los cálculos pertinentes implementado el método propuesto por Barrón para tabiques dobles y paredes compuestas por varios materiales. El acondicionamiento de los salones se analizó por medio de una simulación en el software de análisis basado en acústica geométrica Catt-Acoustics versión DEMO con el fin de observar el comportamiento del sonido de los diseños de cada uno de los tres salones.

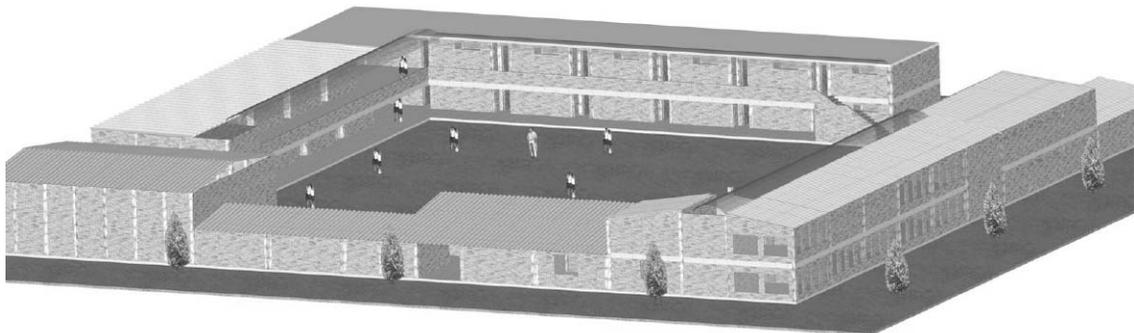


Figura 83. Diseño acústico 3D CED José Asunción Silva

Se conservó la base estructural y los materiales principales como el ladrillo, concreto y las tejas de fibro-cemento, esto con el objetivo de no incrementar los costos. Se utilizaron materiales para construcción liviana sobre las paredes laterales y el techo y también se diseñó un sistema de vidrioado doble en las ventanas actuales. Se reemplazó la rejilla de cemento por vidrio con el fin de reducir el nivel de ruido exterior que ingresa a las aulas (Ver anexos detalles de los planos) y mantener la iluminación natural de los recintos.

Asimismo se propone pañetar y pintar la pared frontal y trasera en los tres casos con el objeto de eliminar los haces de luz y evitar filtraciones entre los salones. Al dejar estas paredes pañetadas y pintadas también ayudará al acondicionamiento acústico de las aulas ya que adentro de las mismas se requiere de un tiempo de reverberación óptimo para obtener una buena inteligibilidad.

Debido a que las paredes de los salones son paralelas se presenta un fenómeno de ondas estacionarias llamado flutter, problema que genera el rebote permanente y continuo de ciertas frecuencias, especialmente frecuencias bajas, de una pared a otra. Para evitar esto las ventanas dobles se diseñaron con un ángulo de inclinación y se implementó en la pared trasera un sistema de difusores QRD que ayudarán a controlar este común fenómeno ondulatorio. Los difusores trabajarán en frecuencias medias y altas ayudando a que la voz del profesor sea uniforme en el salón eliminando a su vez coloración en la sala.

El diseño final se realizó en Catt-Acoustics versión DEMO con el fin de observar el comportamiento del acondicionamiento acústico de los salones. Al realizar esto se observó que en espacios tan pequeños es difícil controlar el sonido debido a que al implementar materiales porosos en las salas se disminuye significativamente el tiempo de reverberación y al tratar de aumentar el tiempo de reverberación en espacios tan pequeños muy fácilmente se pierde la inteligibilidad por lo tanto es necesario aprovechar los materiales que son muy reflectivos y jugar con otros materiales no tan absorbentes para obtener un tiempo de reverberación ideal y a la vez una buena inteligibilidad.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos del aislamiento y acondicionamiento acústico del diseño final el cual ayudará a reducir los niveles de ruido en los tres salones.

5.5.1 Aislamiento. Como se mencionó anteriormente se usó el método de Barrón donde se introducen las ecuaciones en una hoja de cálculo obteniendo los niveles de reducción de ruido para un sistema conformado por ladrillo, fibra de vidrio, cámara de aire y dos placas de drywall. Estos resultados se restan al nivel de ruido exterior de los salones según su ubicación con el fin de obtener los niveles del ruido ambiente de los salones con el diseño de aislamiento implementados y obtener la curva NC.

A continuación se observa en la gráfica el NC actual de cada salón junto con el NC del diseño que se propone para reducir los niveles de ruido. En la tabla se observa los niveles de ruido exterior con los valores calculados del aislamiento ideales para llegar a los valores sugeridos por las normas. Para esto se usa la siguiente ecuación de aislamiento.

$$TL = SPL_1 - SPL_2 + 10 \log(RT_{60}/0,5) \quad (57)$$

Despejando la ecuación para obtener SPL_2 se obtiene:

$$SPL_2 = SPL_1 - TL + 10 \log(RT_{60}/0,5) \quad (58)$$

Donde:

SPL_1 es el nivel de ruido exterior en dBA.

TL es el índice de transmisión de ruido calculado por el método Barron.

RT60 es el tiempo de reverberación.

Salón 1.

MURO 1						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	46,2	53,6	59,6	61,1	58,2	51,8
TL Barron	26,38	33,29	25,32	35,29	30,46	34,03
Total	19,82	20,31	34,28	25,81	27,74	17,77
Corrección Rt60 (seg)	0,61	0,55	0,34	0,32	0,26	0,4
Ruido Interior (dBA)	20,68	20,72	32,61	23,87	24,9	16,8

MURO 3						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	63,9	65,5	67,9	69,1	68,4	63,4
TL Barron (dBA)	29,46	51,03	56,33	65,08	59,58	44,70
Total	34,44	14,47	11,57	4,02	8,82	18,70
Corrección Rt60 (seg)	0,61	0,55	0,34	0,32	0,26	0,4
Ruido Interior (dBA)	35,30	14,88	9,90	2,08	5,98	17,73

Tabla 37. Aislamiento del diseño salón 1.

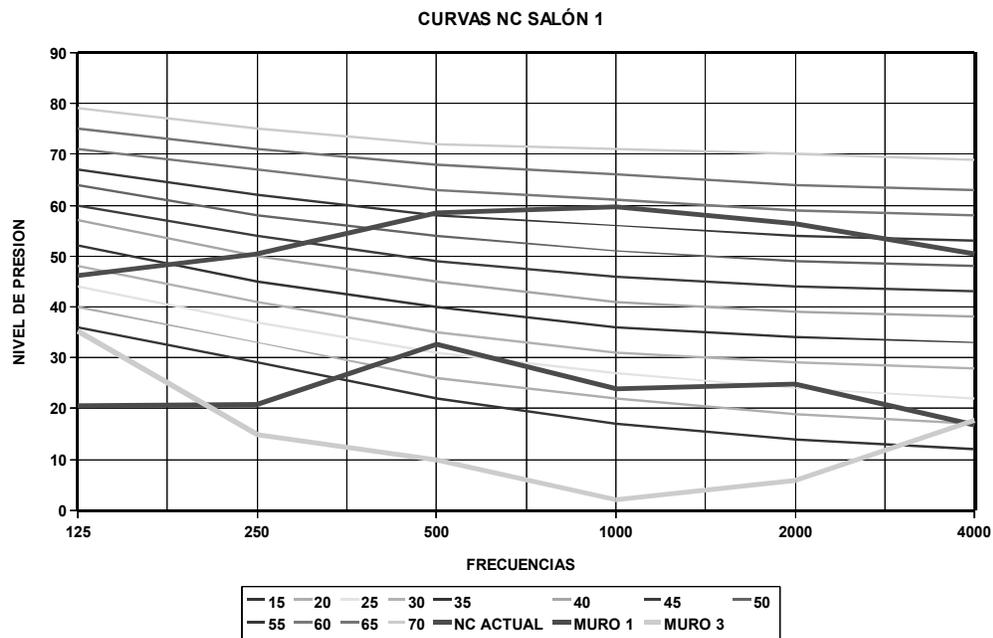


Figura 84. Curva NC de Diseño para salón 1.

El aislamiento en las paredes 1 y 3 de este salón consta de acustifibra de 1", una cámara de aire de 12 cm y dos placas de yeso de 5/8" de espesor. Las ventanas tienen doble vidrio uno de 3mm y otro de 8mm, para llegar a los niveles deseados la puerta se cambia por una de madera de 5 cm de espesor con un pequeño visor de 25 cm por cada lado con vidrio de 6mm. Con este aislamiento se logro disminuir los niveles pasando de un NC 60 a un NC 30 para el muro 1 y un NC 20 en el muro 2 y se obtiene niveles de 34,25 dBA y 36,54 para el muro 1 y 3 respectivamente disminuyendo los niveles dentro del rango que aconseja la norma ASA S12.60 parte 2.

Salón 2. En el caso de este salón el aislamiento consta de acustifibra de 1" seguido de un espacio de 12 cm con dos placas de yeso de 1/2", doble vidrio de 3mm y 8mm. Al igual que el salón anterior se cambia la puerta por una de madera con las mismas características del salón anterior. Con este aislamiento se obtienen los siguientes valores.

MURO 1						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	50	58,9	69,9	70,8	67,9	63,5
TL Barron	36,91	43,28	35,02	45,11	40,31	45,07
Total	13,09	15,62	34,88	25,69	27,59	18,43
Corrección Rt60 (seg)	0,71	0,57	0,43	0,39	0,34	0,56
Ruido Interior (dBA)	14,61	16,19	34,22	24,61	25,92	18,92

MURO 3						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	49,6	53,8	58,4	59,7	57,7	50,5
TL Barron	23,52	41,03	56,24	62,37	44,28	28,40
Total	26,08	12,77	2,16	-2,67	13,42	22,10
Corrección Rt60 (seg)	0,71	0,57	0,43	0,39	0,34	0,56
Ruido Interior (dBA)	27,6	13,34	1,5	0	11,75	22,59

Tabla 38. Aislamiento del diseño salón 2.

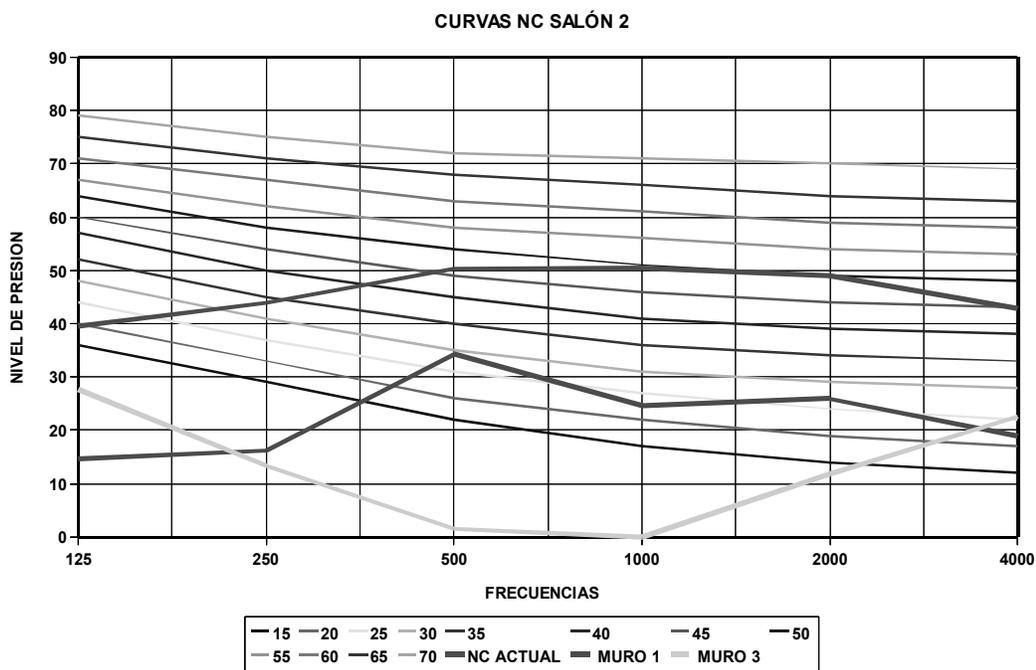


Figura 85. Curva NC de Diseño para salón 2.

Se observa que disminuyen los niveles pasando de un NC 55 a un NC 30 para el muro 1 y un NC 25 para el muro 3 cumpliendo con las recomendaciones de la norma IRAM 4070 y se logra disminuir los niveles para el muro 1 35 dBA y para el muro 2 30,13 dBA estando por debajo de los 41 dBA de la norma americana.

Salón 3. El aislamiento del tercer salón es mismo que el anterior con la diferencia de que la cámara de aire es de 6cm, logrando bajar la curva NC 50 a una NC 35 para el muro 1 y para el muro 3 un NC 25 con niveles de 30,54 dBA y 40,41 dBA respectivamente cumpliendo con los valores recomendados por la norma ASA S12.60 parte 2.

MURO 1						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	46,2	53,6	59,6	61,1	58,2	51,8
TL Barron	25,6	38,3	30,0	40,0	41,4	39,5
Total	20,65	15,31	29,57	21,12	16,84	12,34
Corrección Rt60 (seg)	0,76	0,44	0,41	0,38	0,32	0,43
Ruido Interior (dBA)	22,47	14,75	28,71	19,93	14,90	11,68

MURO 3						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ruido Exterior (dBA)	46,1	49,6	54,9	54,8	50,5	45,8
TL Barron	21,09	22,09	23,09	24,09	25,09	26,09
Total	25,11	31,51	36,51	37,01	33,11	25,71
Corrección Rt60 (seg)	0,76	0,44	0,41	0,38	0,32	0,43
Ruido Interior (dBA)	26,93	30,95	35,65	35,82	31,17	25,05

Tabla 39. Aislamiento del diseño salón 3.

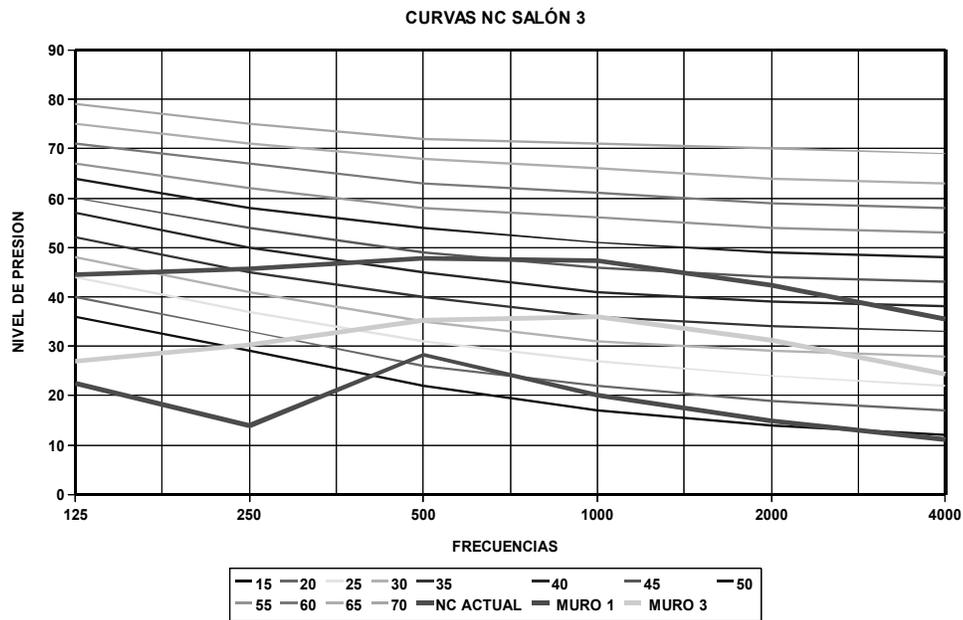


Figura 86. Curva NC de Diseño para salón 3.

5.5.2 Acondicionamiento. Se levantan los planos en el programa de Catt Acoustics Demo con el fin de acondicionar acústicamente los salones. Lo primero que se observa es un excesivo tiempo de reverberación lo cual disminuye al implementar drywall en las paredes laterales. En el suelo se usa piso en madera tipo parquet, así mismo se diseñan difusores con el fin de evitar el fenómeno llamado flutter y unificar el campo sonoro de los salones. (Ver anexos planos de los salones).

El difusor que se diseño es un difusor QRD unidimensional¹⁴ el cual trabaja entre 500 Hz y 4KHz con el fin de unificar la voz del docente. La secuencia del difusor es calculado por medio de la ecuación:

$$s_n = n^2 \text{ mod } p \quad (59)$$

Donde:

p es un número primo.

n es un número entero de 0 hasta p-1

mod es la operación matemática módulo, donde cada valor de S_n es el residuo del cociente entre n^2 y p.

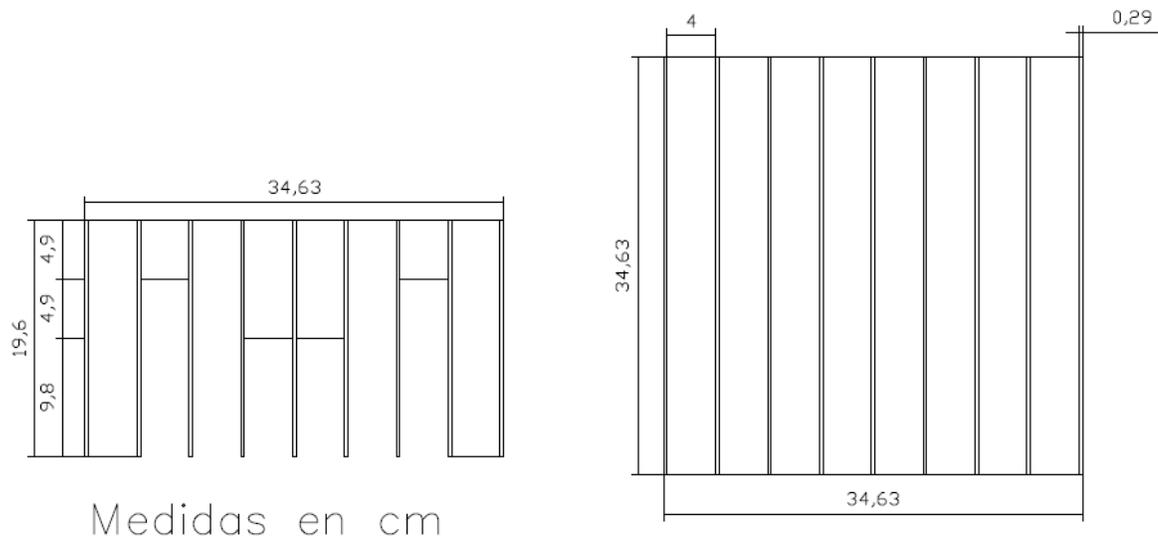


Figura 87. Dimensiones del Prototipo del Difusor QRD.

¹⁴ CARRION, Antoni., “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”. Edicions UPC, S.L. México: Alfaomega, 2001. p. 129.

Por tanto se calcula un difusor de $p=7$ de profundidad de 19,6 cm, con un ancho de las ranuras de 4cm y los divisores son de 0.3cm. En la siguiente figura se observa un prototipo en 3D de los difusores a implementar.

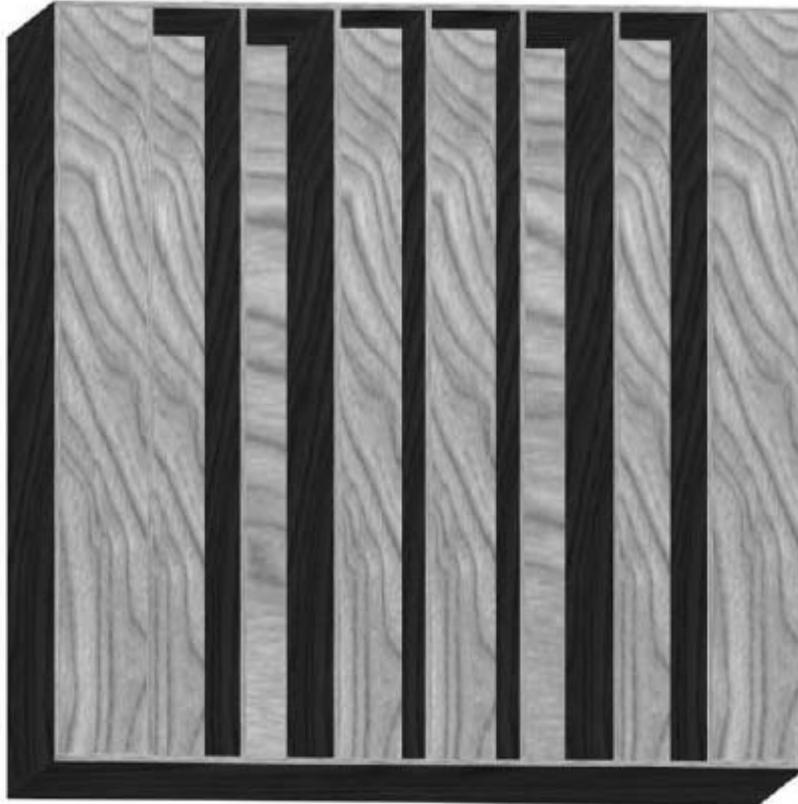


Figura 88. Prototipo del Difusor QRD.

COEFICIENTES DE DIFUSION Y ABSORCIÓN DEL DIFUSOR QRD		
FRECUENCIAS (Hz)	DIFUSION	ABSORCIÓN
125	0,01	0,23
250	-0,02	0,24
500	0,40	0,35
1000	0,49	0,23
2000	0,62	0,20
4000	0,38	0,20

Tabla 40. Coeficientes de difusion y absorción del difusor QRD.

En el programa Catt Acoustics Demo se levantan los planos con los coeficientes de absorción y difusión de cada elemento lo cual se obtiene:

Salón 1. En cada uno de salones se mantuvo la arquitectura original. Se aislaron las paredes laterales donde se filtra el ruido exterior del colegio y del patio central.

MATERIALES	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN					
	FRECUENCIAS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
DRYWALL 1"	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09
PISO PARQUET	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

Tabla 41. Coeficientes de absorción.

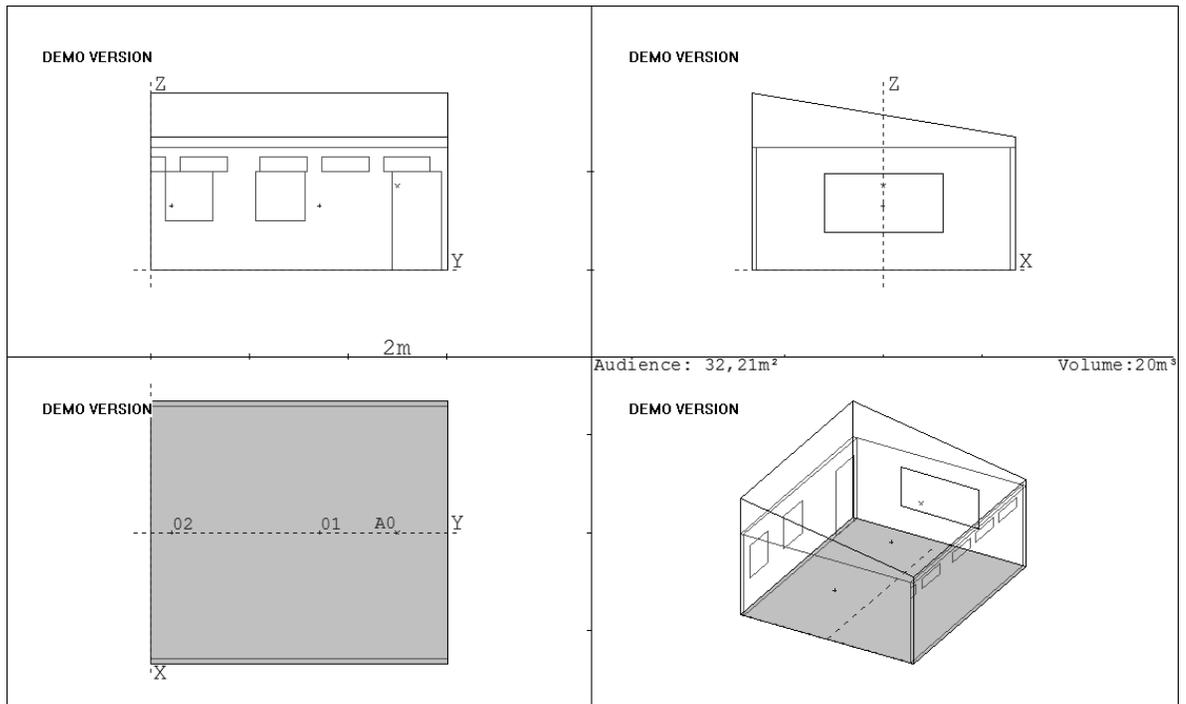


Figura 89. Diseño Catt Acoustics Demo del salón 1.

Tiempo de reverberación.

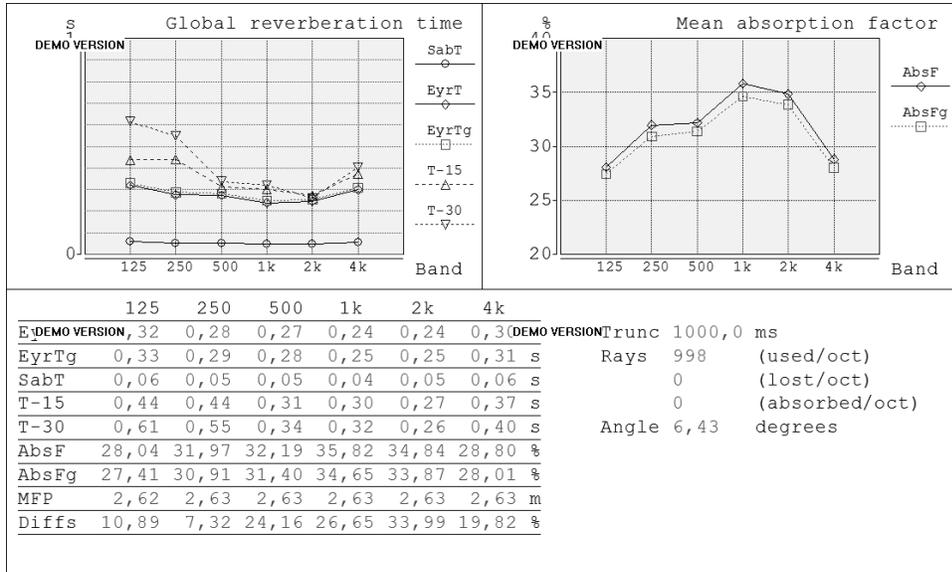


Figura 90. Tiempo de Reverberación del Diseño en Catt Acoustics Demo del salón 1.

Se observa que según la simulación se logra disminuir el RT60 de las bandas de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz por debajo de los 0,5 seg como lo recomienda la norma ASA S12.60 parte 2.

RASTI

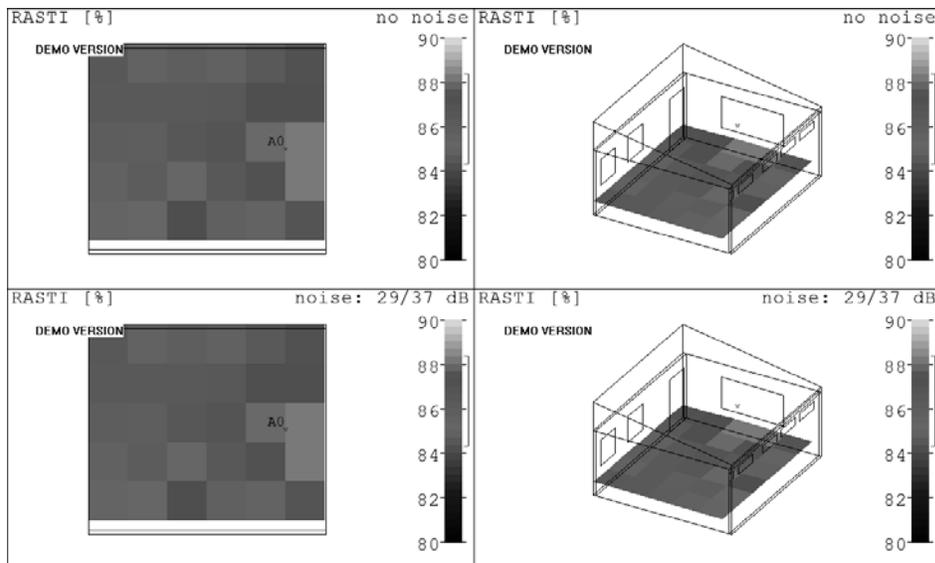


Figura 91. RASTI del Diseño en Catt Acoustics Demo del salón 1.

Teniendo en cuenta la siguiente tabla y tomando los valores de RASTI entre 0,845 y 0,885 según la simulación de Catt Acoustics DEMO se observa que en este caso la inteligibilidad se encuentra dentro del rango de excelente mejoran la inteligibilidad de esta sala.

STI	0-0.3	0.3-0.45	0.45-0.6	0.6-0.75	0.75-1.0
%ALcons	100-33%	33-15%	15-7%	7-3%	3-0%
	Inaceptable	Pobre	Aceptable	Bueno	Excelente

Tabla 42. STI y Alcons.

Salón 2. En este salón se implementaron los mismos materiales del primer salón con la misma distribución por lo cual se obtienen los siguientes resultados pero para obtener los valores deseados para cumplir con la norma se implemento un panel de madera en la parte superior y en el centro del salón.

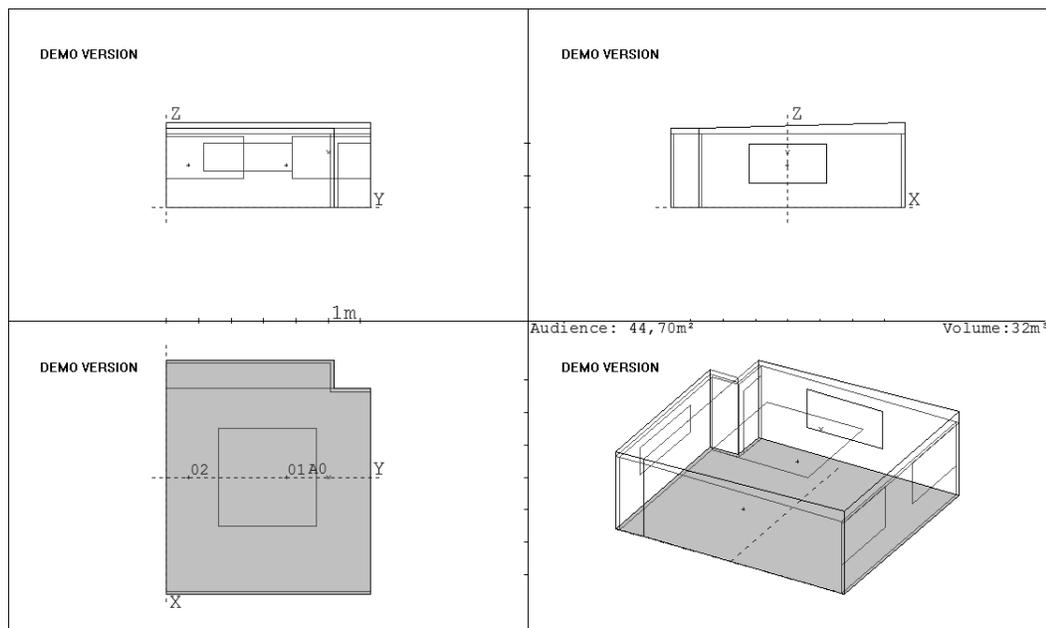


Figura 92. Diseño Catt Acoustics Demo del salón 2.

Tiempo de reverberación

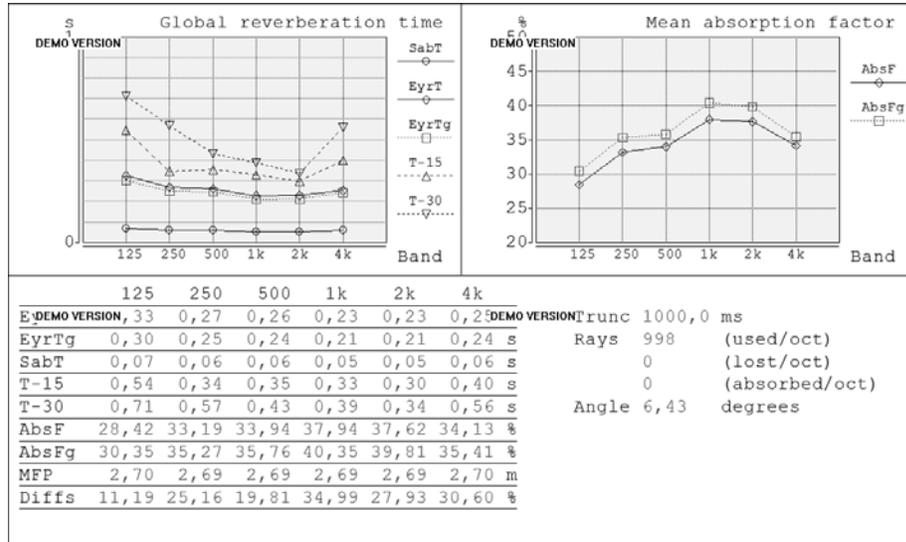


Figura 93. Tiempo de Reverberación del Diseño en Catt Acustics Demo del salón 2.

En este salón a través de la simulación se logra disminuir el tiempo de reverberación a valores que están dentro de la norma ANSI-ASA S12.60 la cual pide que los valores de tiempo de reverberación de las bandas medias este máximo a 0,5 seg.

RASTI

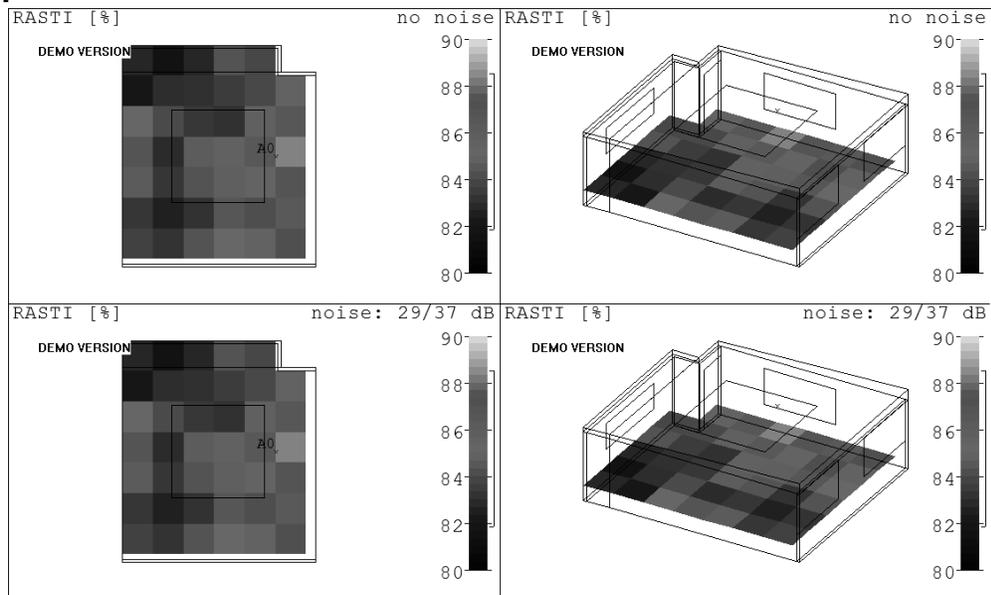


Figura 94. RASTI del Diseño en Catt Acustics Demo del salón 2.

Se logra un rango aproximadamente de 0,819 y 0,885 obteniendo en la simulación una inteligibilidad excelente; actualmente es pobre con un valor de 10.19 ALcons.

5.5.2.3 SALÓN 3

El tercer salón no necesito de materiales adicionales aparte de los que se implemento en el aislamiento mencionados anteriormente, porque gracias a estos materiales se logro un tiempo de reverberación aceptable para la sala y a su vez mejora la inteligibilidad de la sala.

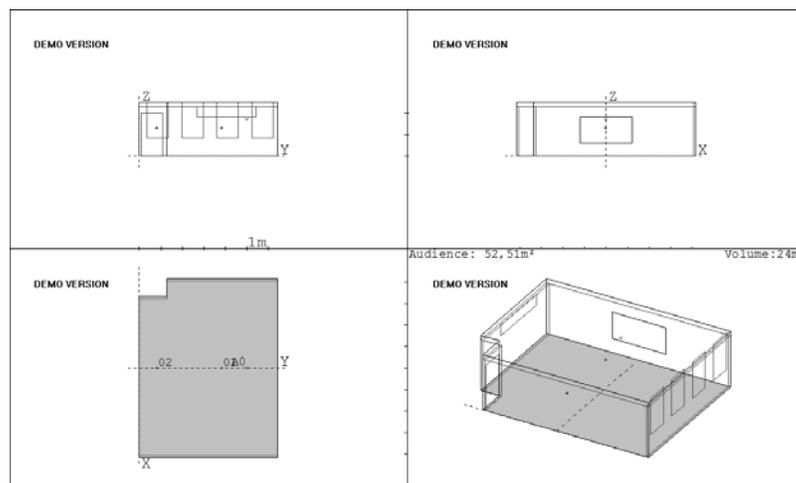


Figura 95. Diseño Catt Acoustics Demo del salón 3.

Tiempo de reverberación

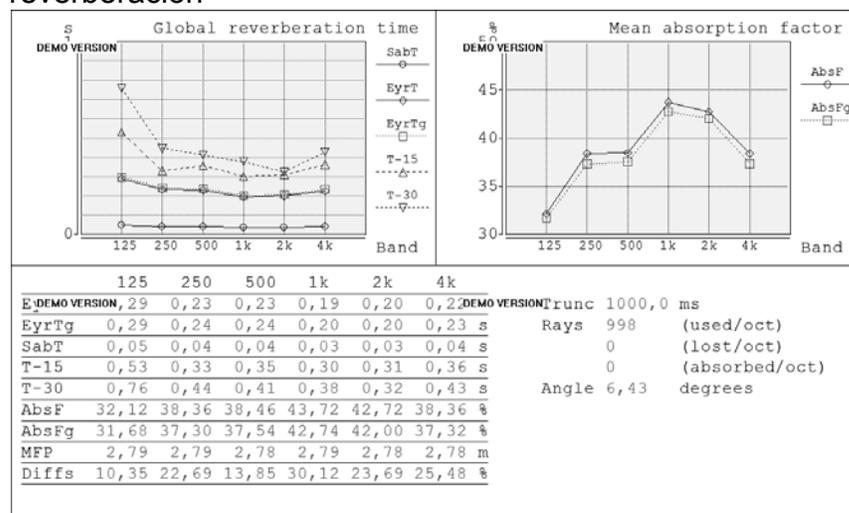


Figura 96. Tiempo de Reverberación del Diseño en Catt Acoustics Demo del salón 3.

En este salón se observa que el tiempo de reverberación disminuye con la simulación cumpliendo con la norma ANSI-ASA S12.60 parte 2.

RASTI

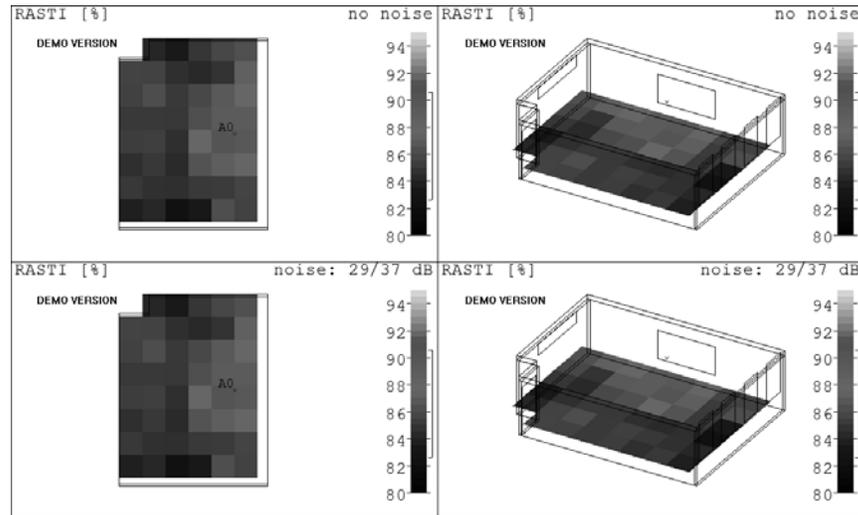


Figura 97.RASTI del Diseño en Catt Acoustics Demo del salón 3.

En este espacio, como se observa en la anterior figura, se logra obtener un RASTI dentro del rango de 0,83 hasta 0,905 lo cual indica que su inteligibilidad es excelente mejorando así la inteligibilidad que antes estaba entre aceptable y buena.

Modos normales.

Con los diseños ya definidos se procede a calcular los modos propios de los salones con las nuevas dimensiones según como se menciona en el marco teórico insertando las ecuaciones y dimensiones de cada salón en una hoja de calculo obteniendo los siguientes resultados.

Salón 1

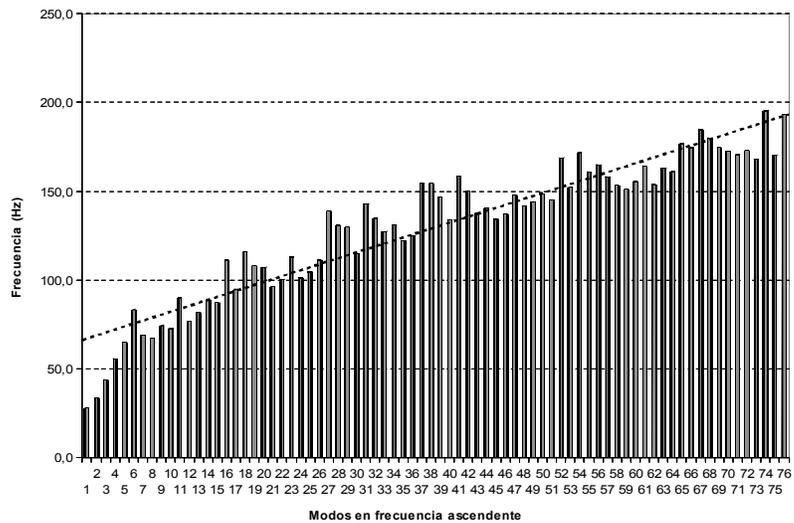


Figura 98. Modos normales salón 1.

Según la gráfica anterior en este salón la gran mayoría de modos propios se encuentra entre los 100 Hz y 150 Hz. Se plantea como solución aprovechar el espacio que queda entre el cielo raso y las tejas, como su altura es variable se calculan dos resonadores uno con la altura máxima y el otro con la altura mínima para tener una mayor cobertura en frecuencias. La acustifibra se mantiene sobre el cielo raso para que funcione en un rango de frecuencias al rededor de la frecuencia de resonancia.

Salón 2. En este salón se presenta el mismo comportamiento del salón anterior por lo tanto se plantea la misma solución.

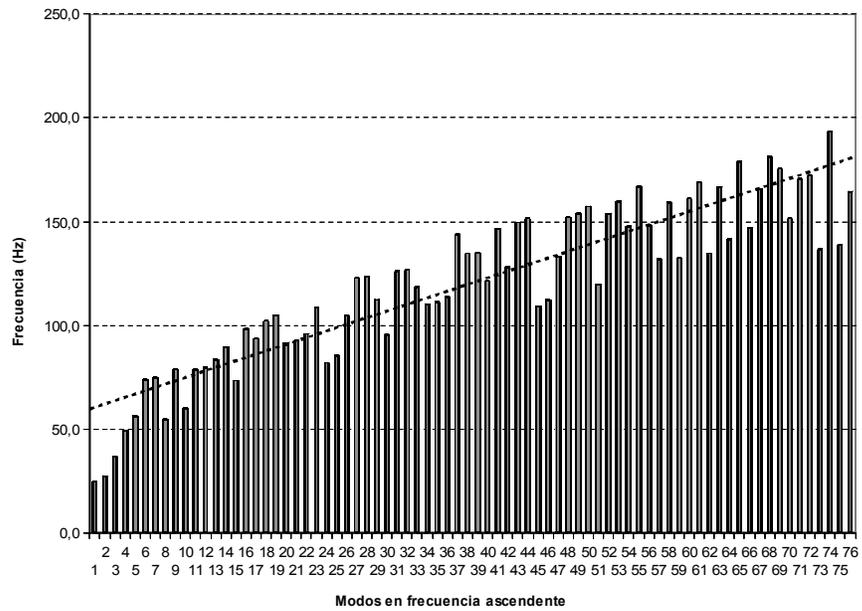


Figura 99. Modos normales salón 2.

Salón 3

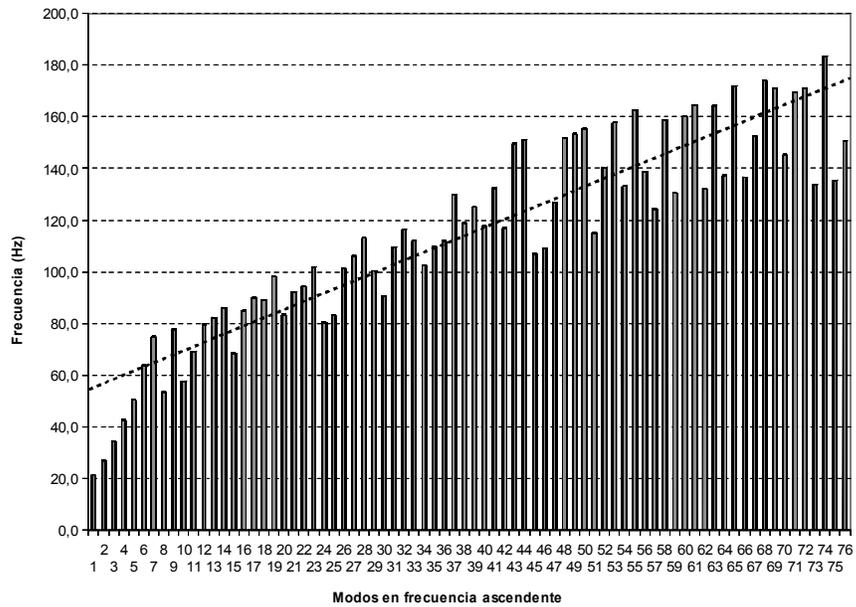


Figura 100. Modos normales salón 3.

En este ultimo salón se ve un comportamiento irregular en casi todo el rango de frecuencias bajas, pero al no contar con el mismo espacio que los salones

anteriores se calcula un resonador para la frecuencia de 125 Hz para que alcance a tener cobertura desde los 63 Hz hasta los 250 Hz.

Para controlar las ondas estacionarias generadas por la forma geométrica de los salones se diseño para cada recinto un resonador de múltiple de cavidad a base de paneles ranurados por medio de la siguiente ecuación:

$$f_0 = 5480 \sqrt{\frac{p}{D'd}} \quad (59)$$

Donde:

d es la distancia del panel a la pared rígida [cm].

p es el porcentaje de perforación dado por:

$$p = \frac{\pi a^2}{D_1 D_2} \quad (60)$$

a es el radio de las perforaciones [cm]

D1 distancia horizontal entre las perforaciones [cm]

D2 distancia vertical entre las perforaciones [cm]

D' es la longitud efectiva de las perforaciones y es igual a:

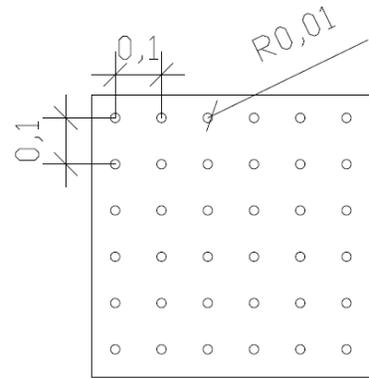
$$D' = D + 1,6a \quad (61)$$

D es el espesor del panel [cm]

Se introducen las anteriores ecuaciones a una hoja de calculo con los valores de las distancias entre las tejas (en el caso del salón 1 y 2) o la placa de concreto (salón 3) y valores comerciales de espesores de laminas de madera. Se varia la distancia entre las perforaciones y el radio hasta obtener la frecuencia critica deseada. A continuación se observa los resultados junto con las dimensiones del resonador de perforaciones calculado.

Salón 1.

Variables		Resonador 1	Resonador 2
d	distancia del panel a la pared rígida cm	96	12
a	radio de perforaciones cm	1	1
D	espesor del panel cm	0,3	0,3
D1	distancia horizontal entre perforaciones cm	10	10
D2	distancia vertical entre perforaciones cm	10	10
p	porcentaje de perforación	0,03	0,03
D'	longitud efectiva cm	1,9	1,9
fo	Frecuencia crítica	71,92	203,42

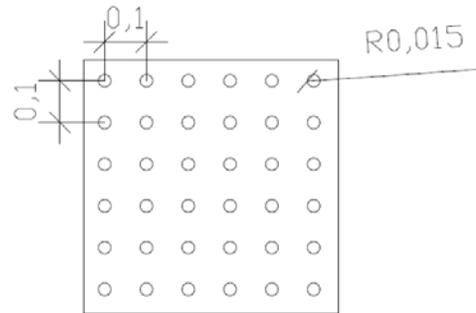


Medidas en metros

Figura 101. Resonador salón 1.

Salón 2.

Variables		Resonador 1	Resonador 2
d	distancia del panel a la pared rígida cm	35	15
a	radio de perforaciones cm	1,5	1,5
D	espesor del panel cm	0,3	0,3
D1	distancia horizontal entre perforaciones cm	10	10
D2	distancia vertical entre perforaciones cm	10	10
p	porcentaje de perforación	0,07	0,07
D'	longitud efectiva cm	2,7	2,7
fo	Frecuencia crítica	149,88	228,94

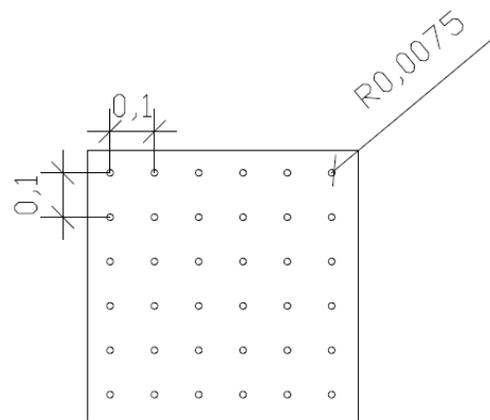


Medidas en metros

Figura 102. Resonador salón 2.

Salón 3.

Variables		Resonador 1
d	distancia del panel a la pared rígida cm	20
a	radio de perforaciones cm	0,75
D	espesor del panel cm	0,3
D1	distancia horizontal entre perforaciones cm	10
D2	distancia vertical entre perforaciones cm	10
p	porcentaje de perforación	0,02
D'	longitud efectiva cm	1,5
fo	Frecuencia crítica	133



Medidas en metros

Figura 103. Resonador salón 3.

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Al desarrollar las mediciones acústicas de acuerdo a las normas ISO 140 para aislamiento, ISO 3382 para tiempo de reverberación, la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 para exposición de ruido y la IRAM 4070 donde se especifica el método para clasificar los niveles de ruido existen en una curva NC y analizar si se encuentra en los niveles permitidos, se conocieron las condiciones actuales de tres salones del CED José Asunción Silva. Al analizar los datos y compararlos con los parámetros de la norma ANSI- ASA S12.60 se revela que las condiciones acústicas de los tres salones no están dentro de la normativa lo que conlleva a diseñar el aislamiento y acondicionamiento para cada uno de los espacios con el fin de obtener niveles de acuerdo con la norma.

Cada diseño logra disminuir los niveles de ruido de acuerdo con la norma ANSI-ASA S12.60 que recomienda un nivel no mayor a 41 dBA, lo anterior se puede observar en las siguientes tablas y gráficas de cada salón.

Salón 1							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
Niveles actuales (dBA)	46,2	50,4	58,4	59,6	56,4	50,4	63,62
Niveles diseño (dBA)	27,99	17,8	21,25	12,98	15,44	17,27	29,69

Tabla 43. Niveles de ruido de fondo actuales vs. Niveles diseño del salón 1.

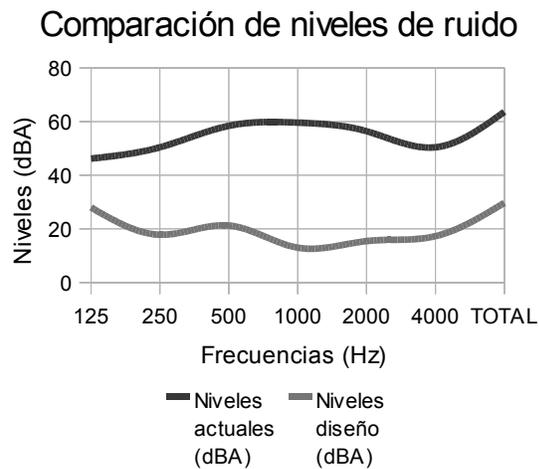


Figura 104. Niveles de ruido de fondo actuales vs. Niveles diseño del salón 1.

Salón 2							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
Niveles actuales (dBA)	39,5	43,9	50,3	50,5	49,1	42,8	55,48
Niveles diseño (dBA)	21,11	14,76	17,86	12,31	18,83	20,76	26,36

Tabla 44. Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 2.

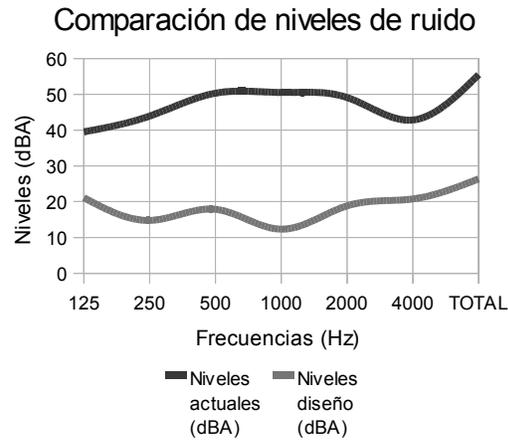


Figura 105. Niveles de ruido de fondo actuales vs. Niveles diseño del salón 2.

Salón 3							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
Niveles actuales (dBA)	44,5	45,7	47,9	47,4	42,9	35,4	53,12
Niveles diseño (dBA)	24,7	22,85	32,18	27,87	23,04	18,37	34,8

Tabla 45. Niveles de ruido de fondo actuales vs. Niveles diseño del salón 3.

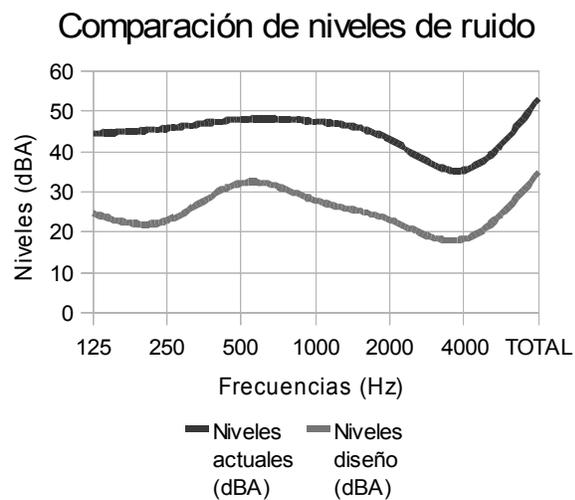


Figura 106. Niveles actuales vs. Niveles diseño del salón 3.

Para lograr estos diseños fue necesario hacer en cada salon levantamiento de planos, mediciones de ruido según la resolución 0627 del 7 de abril del 2006, ISO 3382 e ISO 140. Al obtener estos datos se compara las condiciones actuales con las condiciones ideales según la norma ANSI-ASA S12-60 Parte 2.

Al obtener el diseño del aislamiento de los salones se simula cada uno en el programa CATT Acoustics versión DEMO con el fin de acondicionar cada espacio obteniendo los tiempos de reverberación óptimos según la recomendación de la norma y mejorar la inteligibilidad de cada espacio. Lo anterior se puede observar en las siguientes tablas.

Salón 1							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
RT 60 Actual (Seg)	1,96	1,54	1,40	1,35	1,26	1,03	1,42
RT 60 Diseño (Seg)	0,61	0,55	0,34	0,32	0,26	0,40	0,41

Tabla 46. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 1.

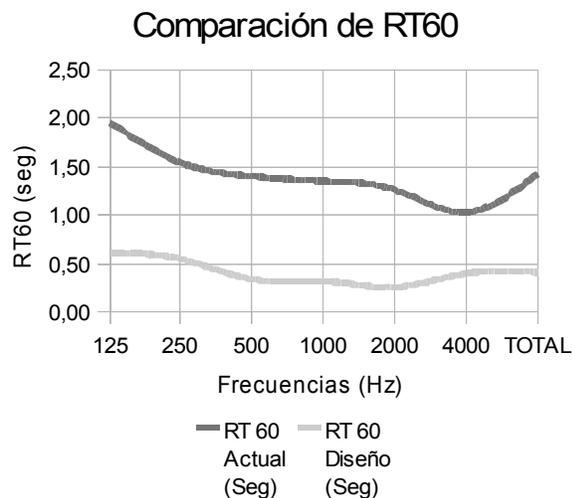


Figura 107. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 1.

Salón 2							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
RT 60 Actual (Seg)	1,63	1,20	1,20	1,10	1,15	0,95	1,21
RT 60 Diseño (Seg)	0,71	0,57	0,43	0,39	0,34	0,56	0,50

Tabla 47. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 2.

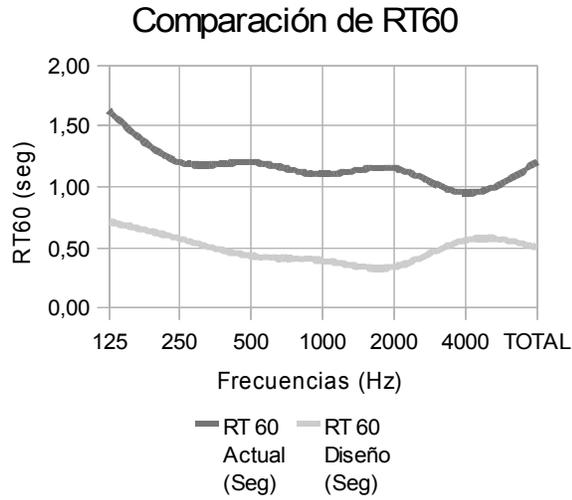


Figura 108. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 2.

Salón 3							
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	TOTAL
RT 60 Actual (Seg)	2,20	1,66	1,70	1,80	1,50	1,20	1,68
RT 60 Diseño (Seg)	0,76	0,44	0,41	0,38	0,32	0,43	0,46

Tabla 48. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 3.

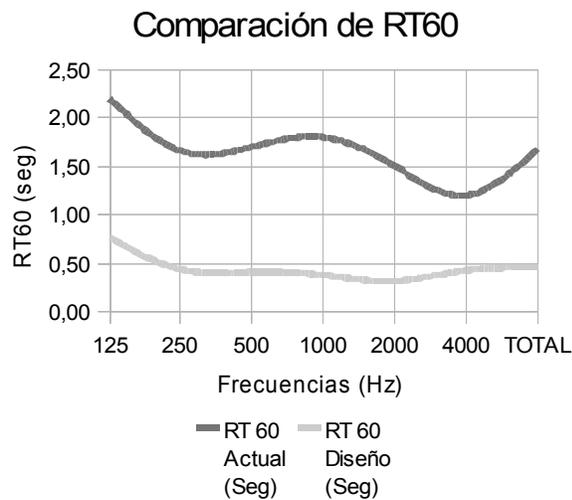


Figura 109. RT60 actuales vs. RT60 diseño del salón 3.

Con lo anterior se mantiene el tiempo de reverberación por debajo de los 0,5 seg en las bandas de 500Hz, 1000Hz y 2000Hz como lo recomienda la norma ANSI-ASA S12.60 Parte 2.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El diseño acústico de cada uno de los salones controla los niveles de ruido exteriores y cumplen con los parámetros establecidos por la norma ANSI-ASA S12.60 parte 2. También se perfeccionó el acondicionamiento de cada espacio con niveles de reverberación óptimos para una excelente inteligibilidad de la palabra de acuerdo a las recomendaciones de la normal.

El levantamiento de planos de cada salón ayudó a identificar los materiales y las dimensiones que conforma cada espacio, con esto se conocieron las falencias que presentan a simple vista, lo que conllevó a identificar las causas de los altos tiempos de reverberación y el poco aislamiento.

Las mediciones de exposición de ruido se realizaron según la resolución 0627 del 7 de abril de 2006 y de acuerdo con los valores obtenidos en las mediciones, el nivel de ruido está fuera de los límites permisibles en Colombia, así mismo tampoco cumple con los niveles mínimos de ruido que sugiere la norma IRAM 4070 de Argentina. El ruido de fondo dentro de los espacios no aplican para la norma ANSI-ASA S12:60 Parte 2. Según el análisis de datos basado en cada unas de las normas era necesario un aislamiento para cumplir con los estándares y mejorar la calidad de aprendizaje de los estudiantes.

Los datos adquiridos por las mediciones acústicas realizadas en el exterior e interior de cada salón comparado con las normas IRAM 4070 y ANSI-ASA S12.60 parte 2 indican que los niveles de ruido y tiempo de reverberación sobrepasan los 41 dBA y los 0,5 seg de RT60 respectivamente, indicados en la norma americana. A su vez los niveles actuales no cumplen con la curva NC 25-30, recomendada por la norma argentina. Los salones no aplican a las normas debido a que no cuentan con elementos para aislar el ruido exterior y tampoco posee materiales adecuados para un tiempo de reverberación óptimo y así mejorar la inteligibilidad de la palabra.

Los diseños propuestos en este trabajo de grado cumplen con la norma ANSI-ASA S12.60 Parte 2, dejando los niveles de ruido por debajo de 41 dBA en cada salón y los tiempos de reverberación son menores a los 0,5 seg en las bandas de 500 Hz, 1000 Hz y 2000Hz.

Las simulaciones realizadas en CATT Acoustics DEMO con los diseños propuestos demuestran que los salones cuentan con un tiempo de reverberación ideal y cumplen con un RASTI excelente en los tres salones.

Como recomendación para hallar los valores óptimos de aislamiento y acondicionamiento de los salones se aconseja primero trabajar el aislamiento en bruto y luego pasar el diseño a CATT Acoustics DEMO con el fin de obtener los tiempos de reverberación e identificar si con los materiales del aislamiento el RT60 cumple con la norma o si es necesario implementar otros materiales. Al tener los tiempos de reverberación se calcula el aislamiento con la corrección de RT60 y saber si con estos niveles también se cumple la norma.

8. PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACIÓN ACÚSTICA.

PRESUPUESTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE SALONES

SALÓN 1

DESCRIPCIÓN	ALMACEN	MEDIDAS	PRESENTACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Acustifibra 1"	DISTRIAISLANTES	1,22 x 2,44 m	Unidad	20	\$70.650	\$1.413.000
Parales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	2,4 m	Unidad	40	\$9.600	\$384.000
Canales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	3,05 m	Unidad	10	\$8.600	\$86.000
Lamina de Drywall 1"	HOMECECENTER	1,22 x 2,44 m	Unidad	25	\$15.450	\$386.250
Tomillos de 6"x1"	HOMECECENTER		Caja de 500	5	\$10.900	\$54.500
Cinta de Papel	HOMECECENTER	75m	Unidad	5	\$5.100	\$25.500
Masilla	HOMECECENTER	5 gl	Unidad	2	\$29.900	\$59.800
Cielo raso Star Orion	DISTRIAISLANTES	61x61cm	Caja de 16 laminas	6	\$188.000	\$1.128.000
Perfileria Autoensamble	DISTRIAISLANTES	Caja de 25 y 50				
Principal	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 25	1	\$195.650	\$195.650
Angulos	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 50	1	\$222.140	\$222.140
Vidrio de 3mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		3,5	\$44.500	\$155.750
Vidrio de 6mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		1,5	\$111.300	\$166.950
Vidrio de 8mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		3,5	\$149.700	\$523.950
Puerta de Madera 5 cm	INDEPENDIENTE	2 x 1 m	Unidad	1	\$250.000	\$250.000
Mano de obra						\$1.000.000

TOTAL

\$6.051.490

SALÓN 2

DESCRIPCIÓN	ALMACEN	MEDIDAS	PRESENTACION	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Acustifibra 1"	DISTRIAISLANTES	1,22 x 2,44 m	Unidad	90	\$70.650	\$6.358.500
Parales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	2,4 m	Unidad	55	\$9.600	\$528.000
Canales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	3,05 m	Unidad	15	\$8.600	\$129.000
Lamina de Drywall 1"	HOMECECENTER	1,22 x 2,44 m	Unidad	30	\$15.450	\$463.500
Tomillos de 6"x1"	HOMECECENTER		Caja de 500	7	\$10.900	\$76.300
Cinta de Papel	HOMECECENTER	75m	Unidad	7	\$5.100	\$35.700
Masilla	HOMECECENTER	5 gl	Unidad	3	\$29.900	\$89.700
Cielo raso Star Orion	DISTRIAISLANTES	61x61cm	Caja de 16 laminas	10	\$188.000	\$1.880.000
Perfileria Autoensamble	DISTRIAISLANTES	Caja de 25 y 50				
Principal	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 25	2	\$195.650	\$391.300
Angulos	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 50	2	\$222.140	\$444.280
Vidrio de 3mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		4	\$44.500	\$178.000
Vidrio de 8mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		4	\$149.700	\$598.800
Puerta de Madera 5 cm	INDEPENDIENTE	2 x 1 m	Unidad	1	\$250.000	\$250.000
Mano de obra						\$1.500.000

TOTAL

\$12.923.080

SALÓN 3

DESCRIPCIÓN	ALMACEN	MEDIDAS	PRESENTACION	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Acustifibra 1"	DISTRIAISLANTES	1,22 x 2,44 m	Unidad	90	\$70.650	\$6.358.500
Parales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	2,4 m	Unidad	55	\$9.600	\$528.000
Canales 3 5/8" calibre 26	HOMECECENTER	3,05 m	Unidad	20	\$8.600	\$172.000
Lamina de Drywall 1"	HOMECECENTER	1,22 x 2,44 m	Unidad	90	\$15.450	\$1.390.500
Tomillos de 6"x1"	HOMECECENTER		Caja de 500	10	\$10.900	\$109.000
Cinta de Papel	HOMECECENTER	75m	Unidad	10	\$5.100	\$51.000
Masilla	HOMECECENTER	5 gl	Unidad	4	\$29.900	\$119.600
Cielo raso Star Orion	DISTRIAISLANTES	61x61cm	Caja de 16 laminas	12	\$188.000	\$2.256.000
Perfileria Autoensamble	DISTRIAISLANTES	Caja de 25 y 50				
Principal	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 25	3	\$195.650	\$586.950
Angulos	DISTRIAISLANTES	3,658 m	Caja de 50	3	\$222.140	\$666.420
Vidrio de 3mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		5	\$44.500	\$222.500
Vidrio de 8mm	VIDRIOS Y CRISTALES TEMPLADOS S.A.	1 x 1 m		5	\$149.700	\$748.500
Puerta de Madera 5 cm	INDEPENDIENTE	2 x 1 m	Unidad	1	\$250.000	\$250.000
Mano de obra						\$1.800.000

TOTAL

\$15.258.970

GRAN TOTAL

\$34.233.540,00

9. BIBLIOGRAFÍA.

ROUGERON, Claude. Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción. Barcelona: ETA, 1977. Pág. 32, 40, 42,44-48,51

CARRION ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. México: Alfaomega, Ediciones UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 2001. Pág. 22,56 y 96.

BARRON, Randall F. Industrial Noise Control and Acoustics, New York: Marcel Dekker, Inc. 2003 Pág 118-142.

HARRIS, Cyril M., Manual de Medidas Acústicas y control de Ruido, Tercera edición, McGraw-Hill. Pág 11.7.

GLOSARIO

Amplitud: es la variación de presión que tiene una onda sonora cuanto mayor sea la amplitud mas fuerte será la sensación auditiva. Para facilitar la valoración se usa una escala logarítmica ya que el oído tiene un rango de amplitud extenso y responde a las variaciones de presión de acuerdo a esta escala. La unidad para trabajar en la escala logarítmica es el decibelio utilizado para expresar el valor relativo entre un valor de referencia y un valor medido de dos magnitudes de igual naturaleza.

Velocidad: es la distancia recorrida por las ondas sonoras en un segundo. Su valor depende principalmente de la densidad del medio de propagación; cuanto mayor sea la densidad del medio, mayor será la velocidad de propagación del sonido.

La velocidad del sonido depende de la temperatura del recinto, debido a que a mayor temperatura las partículas sonoras tienen mayor capacidad de vibrar en el medio ya sea gaseoso, líquido o sólido.

Frecuencia: es el número de variaciones de presión por segundo que produce el desplazamiento de las ondas sonora y está asociada al tono, que es la apreciación subjetiva de la frecuencia. Cuando la frecuencia de un sonido es baja (inferior a 250Hz) este se percibe un tono grave, pero cuando es superior a 2.000 Hz se percibe un tono agudo. Las frecuencias que se encuentran entre estos valores se denominan frecuencias medias.

Longitud de onda: es la distancia entre dos puntos de una onda sonora cuyo valor de presión es el mismo. Se representa con la letra griega lambda (λ) su valor depende de la frecuencia y de la velocidad de propagación, el valor de este decrecerá al aumentar la frecuencia.

La ecuación de longitud de onda es:

$$\lambda = V \cdot T = \frac{V}{N}$$

Siendo $N = 1/T$.

V = Velocidad del sonido (m/s)

T = Periodo (seg.)

λ = Longitud de Onda (m)

Periodo: se define como el tiempo que transcurre cuando una onda realiza una oscilación completa.

Reflexión: cuando una onda sonora incide en una barrera parte de su energía es devuelta al medio de propagación.

La onda que es reflejada por una superficie plana el ángulo de la onda reflejada será el mismo que el de la onda incidente, sin embargo cuando la superficie es irregular la onda se refleja en múltiples direcciones produciendo un campo sonoro homogéneo, este fenómeno es llamado difusión.

Difracción: se produce cuando el valor de la longitud de onda de la onda incidente es de dimensiones similares a la abertura de un obstáculo, regenerando el campo sonoro incidente y en algunos casos creando una distorsión.

Ondas Estacionarias: una onda estacionaria (también se llaman eigentonos o modos de la sala) se produce por la suma de una onda y su onda reflejada sobre un mismo eje. Dependiendo como coincidan las fases de la onda incidente y de la reflejada, se producirá una modificaciones del sonido (aumenta la amplitud o disminuye), por lo que se pueden el sonido resultante puede resultar desagradable. En determinadas circunstancias, la onda estacionaria puede hacer que la sala entre en resonancia.

Hay casos en el que la onda incidente y la reflejada coinciden en la fase, según como se presente puede aumentar o disminuir la amplitud lo cual puede es percibido como un sonido desagradable. También se puede presentar el caso el cual la longitud de la onda estacionaria coincida con las dimensiones de la sala, se pueden presentar puntos en los cuales no se percibe ningún sonido llamado interferencia destructiva y hay puntos donde aumenta la amplitud, estos puntos reciben el nombre de interferencia constructiva.

ANEXO A: PROPIEDADES DE LOS SOLIDOS

APPENDIX C Plate Properties of Solids^a

Material	c_L , m/s	ρ_w , kg/m ³	$M_S f_c$, Hz·kg/m ²	η	E , GPa	σ
Aluminum (2014)	5,420	2,800	34,090	0.001	73.1	0.33
Brass (red)	3,710	8,710	155,200	0.001	103.4	0.37
Brick	3,800	1,800	31,250	0.015	25.0	0.20
Chipboard	675	750	73,400	0.020	0.340	0.08
Concrete	2,960	2,400	50,200	0.020	20.7	0.13
Glass	5,450	2,500	30,300	0.0013	71.0	0.21
Granite	4,413	2,690	40,270	0.001	48.3	0.28
Gypsum board	6,790	650	6,320	0.018	29.5	0.13
Lead	1,206	11,300	819,000	0.015	13.8	0.40
Lexan™	1,450	1,200	54,650	0.015	2.12	0.40
Marble	4,600	2,800	40,200	0.001	55.2	0.26
Masonry block (6 in)	3,120	1,100	23,300	0.007	10.6	0.10
Plaster	4,550	1,700	24,700	0.005	32.0	0.30
Plexiglas™	2,035	1,150	37,300	0.020	4.00	0.40
Plywood	3,100	600	12,780	0.030	4.86	0.40
Polyethylene	765	935	80,700	0.010	0.48	0.35
Pyrex	5,350	2,300	28,400	0.004	62.0	0.24
Rubber (hard)	1,700	950	36,900	0.080	2.30	0.40
Steel (C1020)	5,100	7,700	99,700	0.0013	200.0	0.27
Wood (oak)	3,860	770	11,900	0.008	11.2	0.15
Wood (pine)	4,680	640	8,160	0.020	13.7	0.15

^a c_L is the longitudinal speed of sound; ρ_w is the material density; $M_S = \rho_w h$ = surface density; f_c is the critical or wave coincidence frequency, η is the damping coefficient; E is Young's modulus; and σ is Poisson's ratio.

ANEXO B: ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO SEGÚN RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DEL 2006

ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO EXPRESADOS EN DECIBELES DB(A).

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

ANEXO C: ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL SEGÚN RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DE 2006.

ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL, EXPRESADOS EN DECIBELES DB(A)

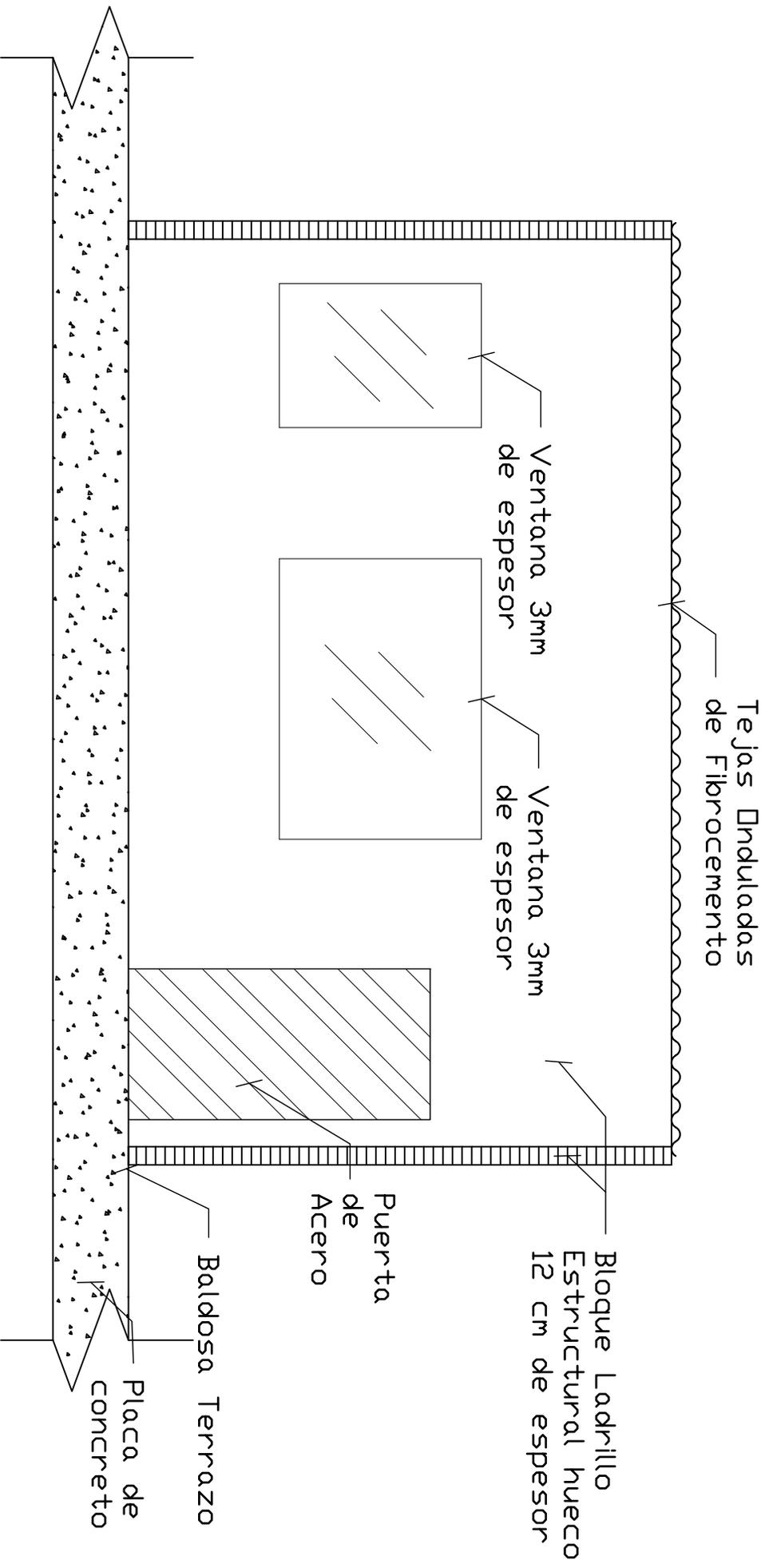
Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

ANEXO D: LISTA DE PALABRAS FONETICAMENTE BALANCEADAS DEL DR.TATO

LISTA DE PALABRAS FONETICAMENTE BALANCEADAS DEL DR. TATO				
Bosque	Yema	Porche	Muda	Vera
Gales	Ciro	Cuadro	Lego	Sonia
Cubo	Rizo	Come	Misa	Popa
Mire	Delta	China	Nene	Monte
Ropa	Cola	Trote	Daños	Quieta
Paje	Halo	Trenza	Pinos	Redes
Sidra	Deca	Cirio	Cuando	Palo
Bodas	Hiato	Nazca	Senda	Coque
Claro	Cura	Cepo	Gasa	Porta
Vientre	Chaco	Duque	Lleno	Lindo
Novia	Dora	Tubo	Moka	Tanques
Tela	Merma	Preso	Niquel	Pana
Bloque	Conde	Fobia	Cuenca	Nota
Bastos	Celos	Blando	Desde	Mesa
Verso	Coca	Canje	Sano	Tieso
Cima	Palos	Mano	Chile	Rabo
Era	Tienen	Capri	Este	Lila
Hipo	Sosa	Pose	Lata	Zarco
Persia	Parva	Sara	Mero	Redes
Codo	Vena	Mitra	Hule	Funda
Base	Pilla	Pique	Tomo	Celta
Tino	Puesto	Sesgo	Cuna	Tantos
Alas	Mary	Dicho	Pote	Líder
Verde	Ente	Mole	Seco	Peso
Lares	Nuncio	Jorge	Lupa	Sino
Paro	Pueblo	Toba	Fuego	Predio
Silla	Dique	Pleno	Corta	Nalga
Dejo	Letras	Tasca	Mina	Sello
Vara	Queso	Velos	Tope	Loza
Dolo	Lidia	Norte	Caro	Neri
Conga	Lana	Bleque	Porte	Circo
Silo	Choque	Guía	Niza	Haba
Tere	Bello	Dedos	Barre	Metro
Lides	Cerdo	Lloran	Dote	Sucre
Soda	Taza	Aire	Medias	Seto
Pilas	Contra	Meca	Testa	Noche
Copa	Saque	Lava	Necio	Ira
Cetro	Cargo	Delfos	Cuba	Poco
Cuyo	Sucio	Ruina	Pera	Viento
Sede	Veinte	Bando	Villa	Pina

ANEXO E: COEFICIENTES DE ABSORCIÓN.

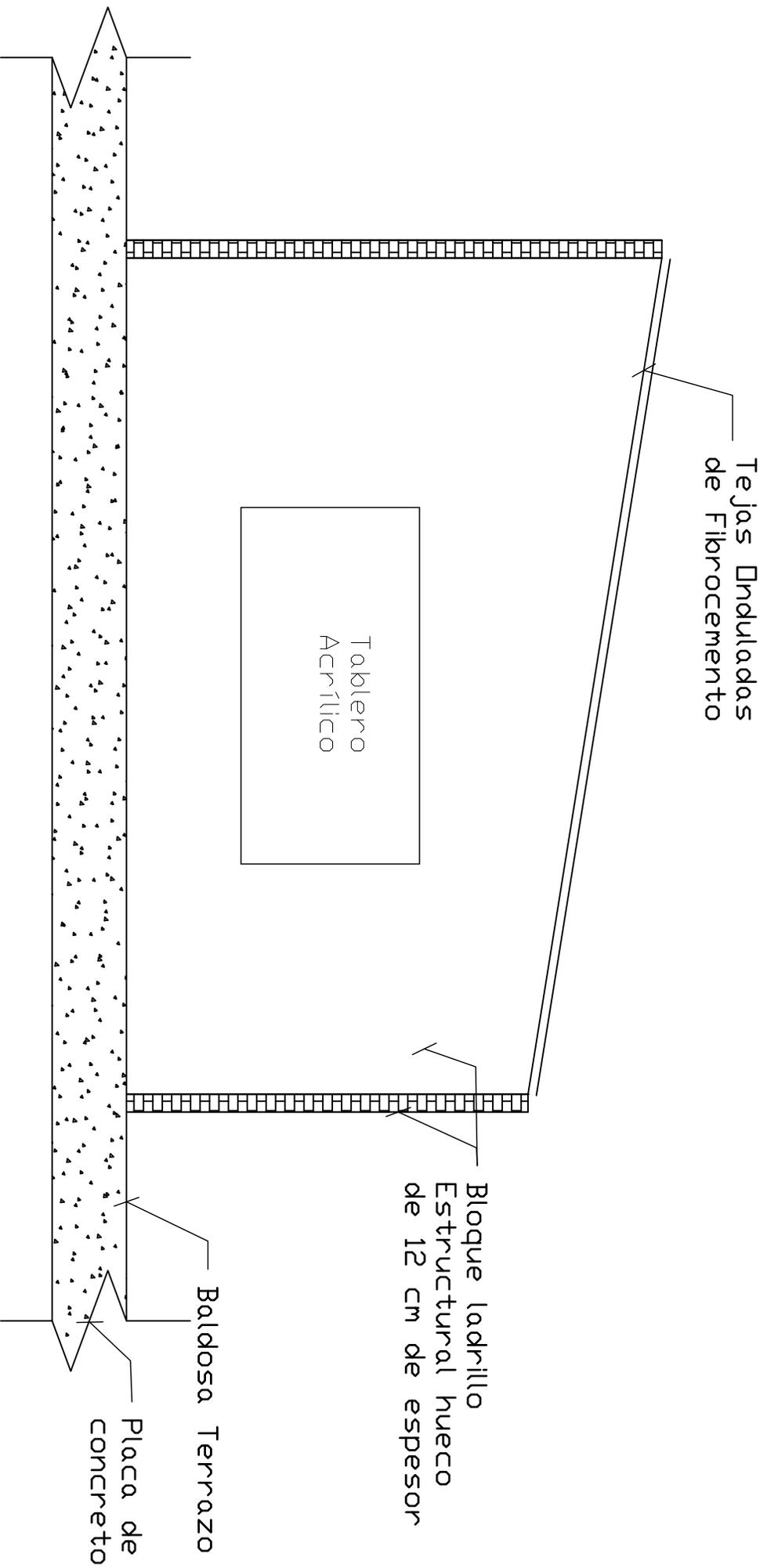
MATERIALES	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN					
	FRECUENCIAS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
ACUSTIFIBRA 1"	0,03	0,22	0,69	0,91	0,96	0,99
CIELO RASO STARS ORION PERFORADO 5/8	0,77	0,69	0,61	0,76	0,8	0,79
CONCRETO	0,01	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
DIFUSOR QRD	0,01	-0,02	0,4	0,49	0,62	0,38
DRYWALL 1"	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09
LADRILLO	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
PISO BALDOSA TERRAZO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
PISO PARQUET	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
PIZARRA	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07
PUERTA DE MADERA	0,15	0,1	0,06	0,08	0,01	0,05
PUERTA DE ACERO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
VIDRIO 3mm	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
VIDRIO 6mm	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
VIDRIO 8mm	0,32	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales Corte 1-1 Salón 1
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



Realizado por: Angélica

Descripción Materiales Corte 2-2 Salón 1

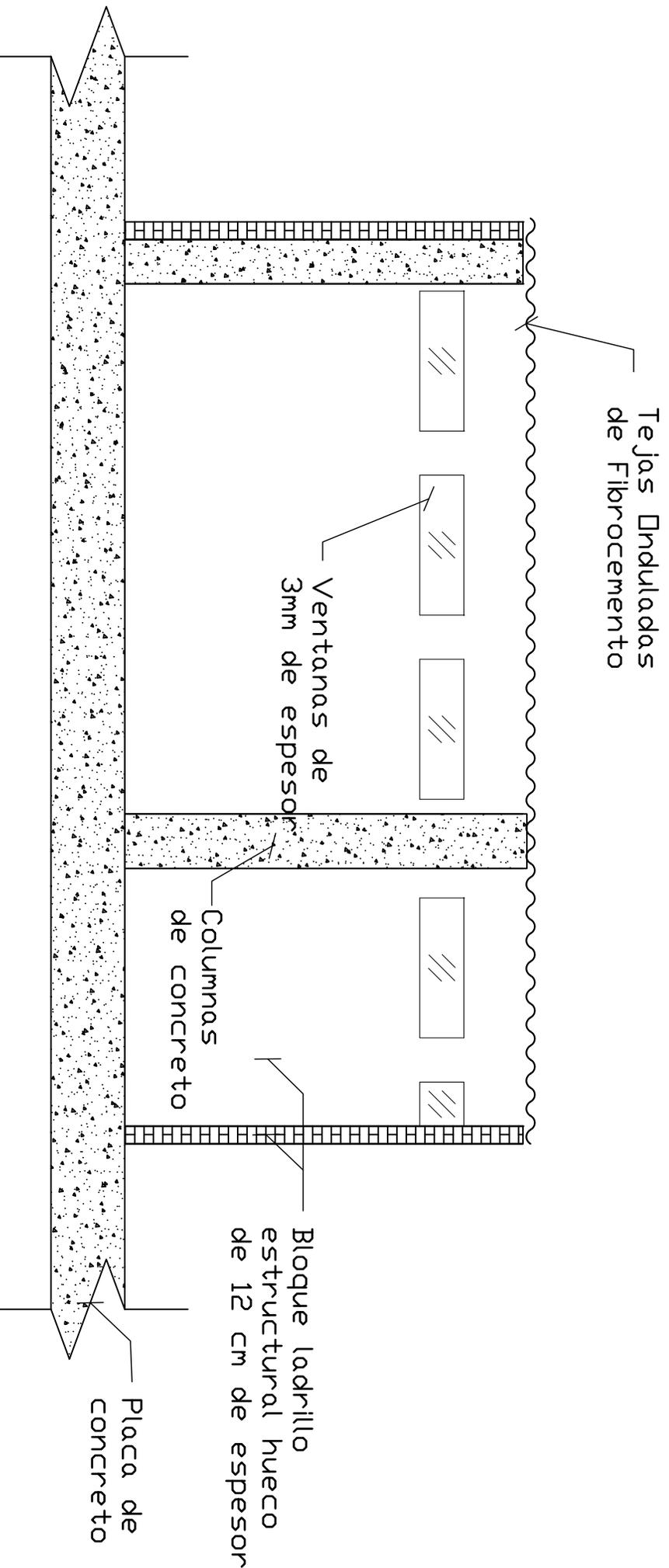
Fecha: Noviembre 2010

V. Sánchez Mercado

Observaciones Medidas en metros

Escala: 1.20

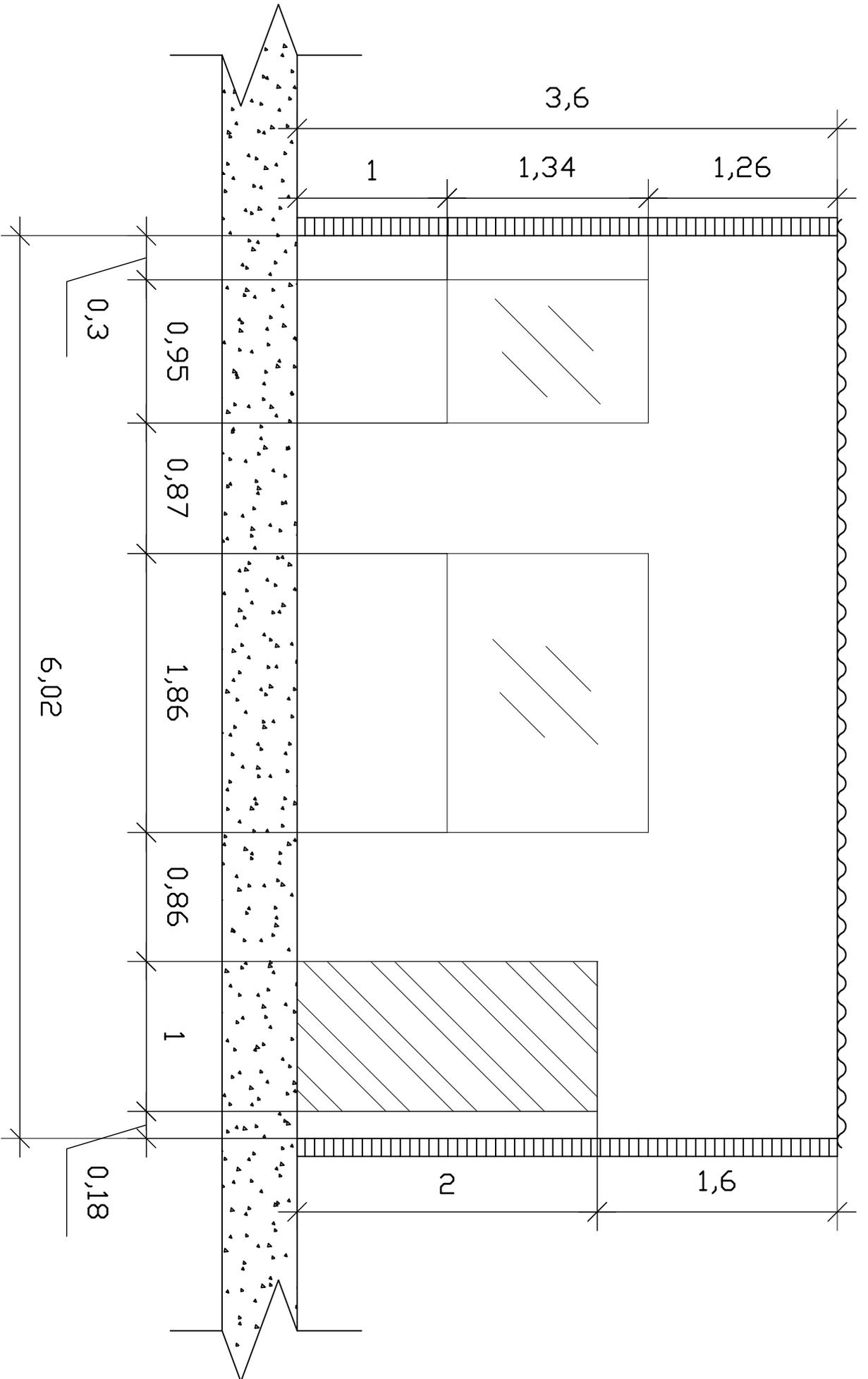
Código: 2002114082



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales Corte 3-3 Salón 1
 Observaciones Medidas en metros

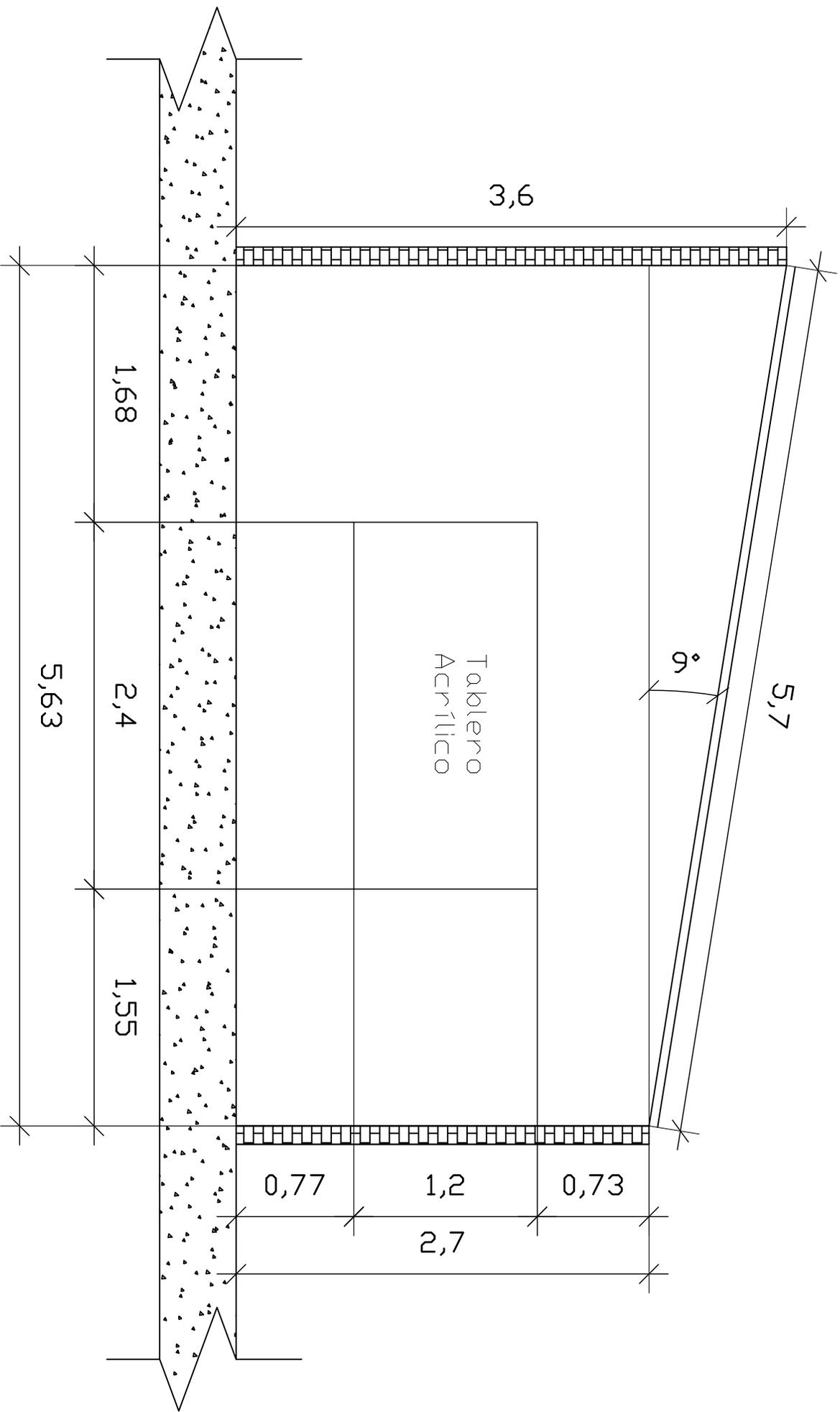
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Dimensiones Corte 1-1 Salón 1
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



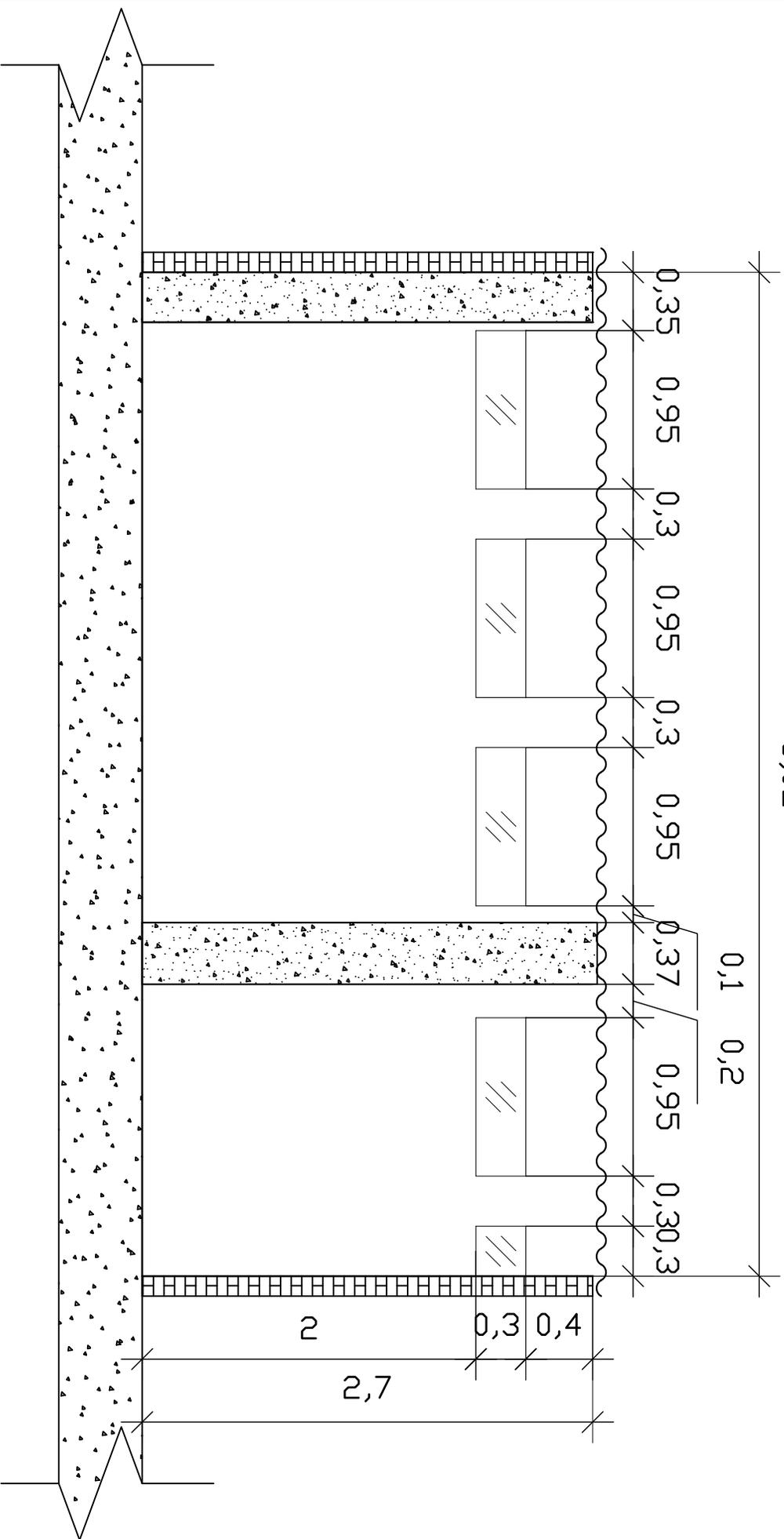
Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Dimensiones Corte 2-2 Salón 1

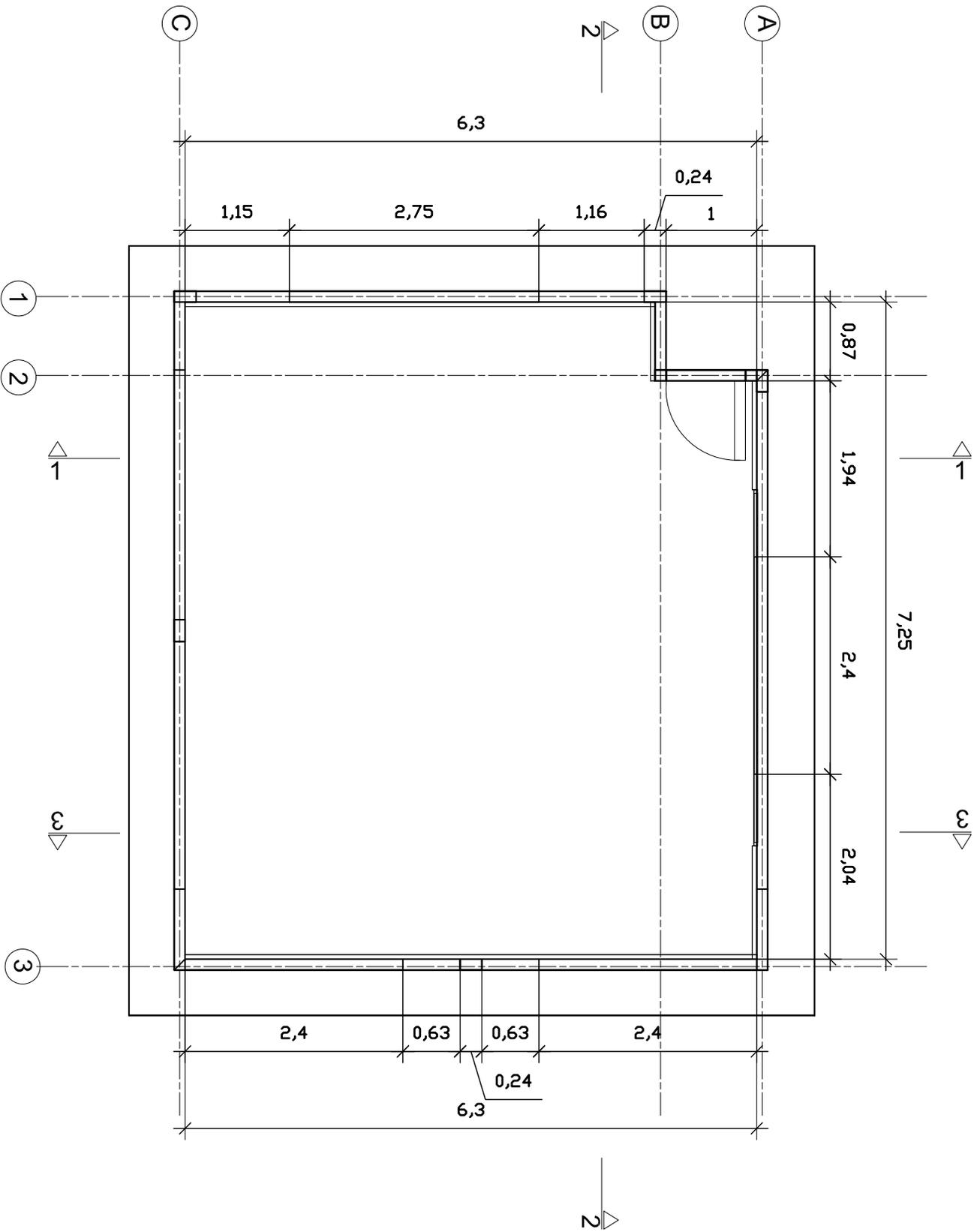
Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

Escala: 1:20



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado Código: 2002114082	Descripción Dimenciones Corte 3-3 Salón 1	Fecha: Noviembre 2010
	Observaciones Medidas en metros	Escala: 1:20



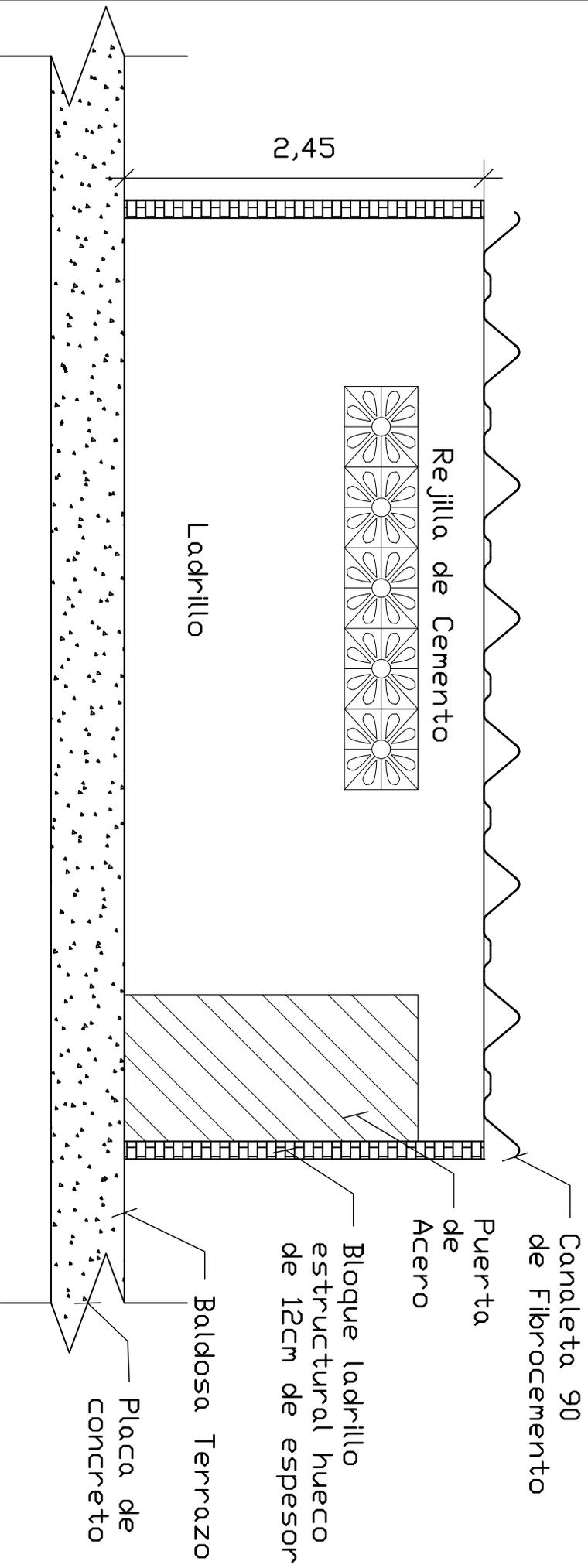
Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Planta General Salón 2

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

Escala: 1:20



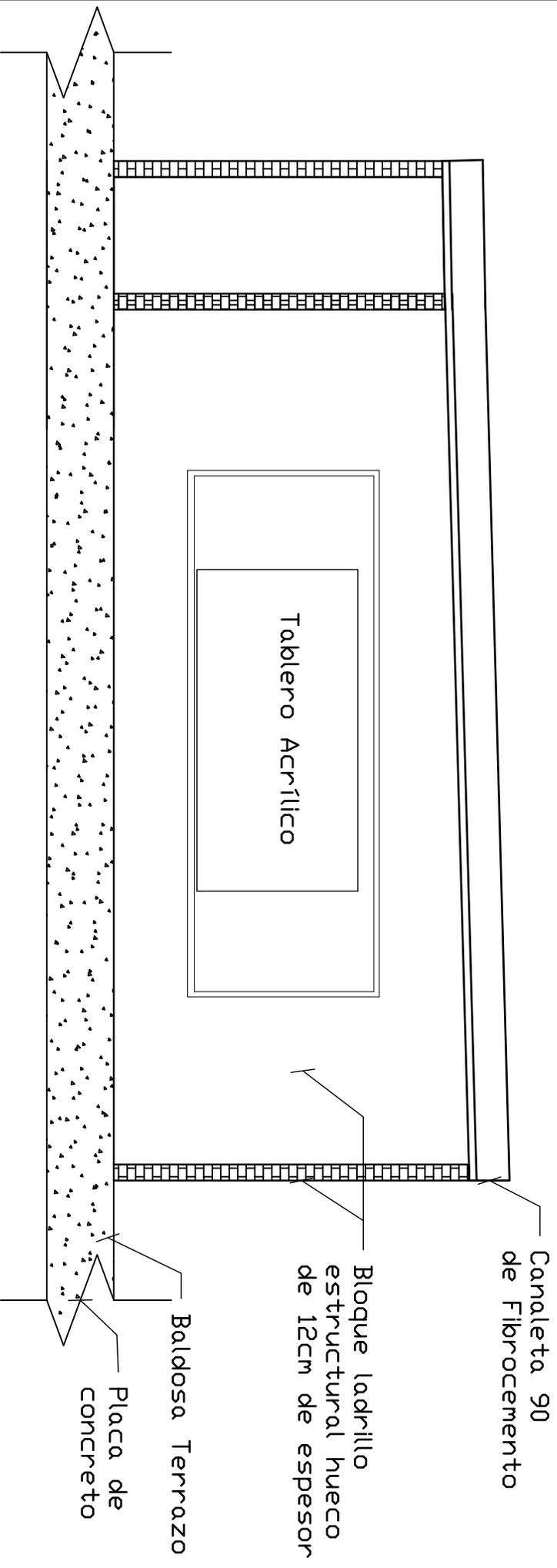
Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales Corte 1-1 Salón 2

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

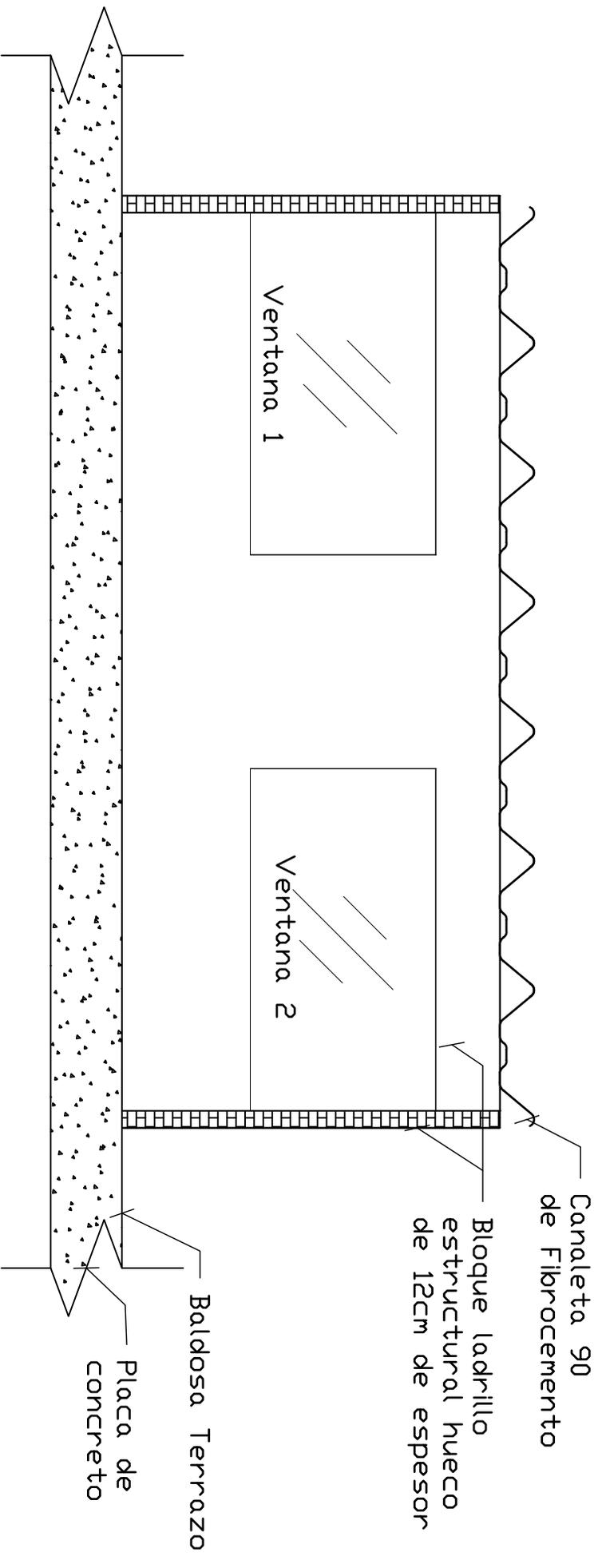
Escala: 1:20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales Corte 2-2 Salón 2
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



Realizado por: Angélica

V. Sánchez Mercado

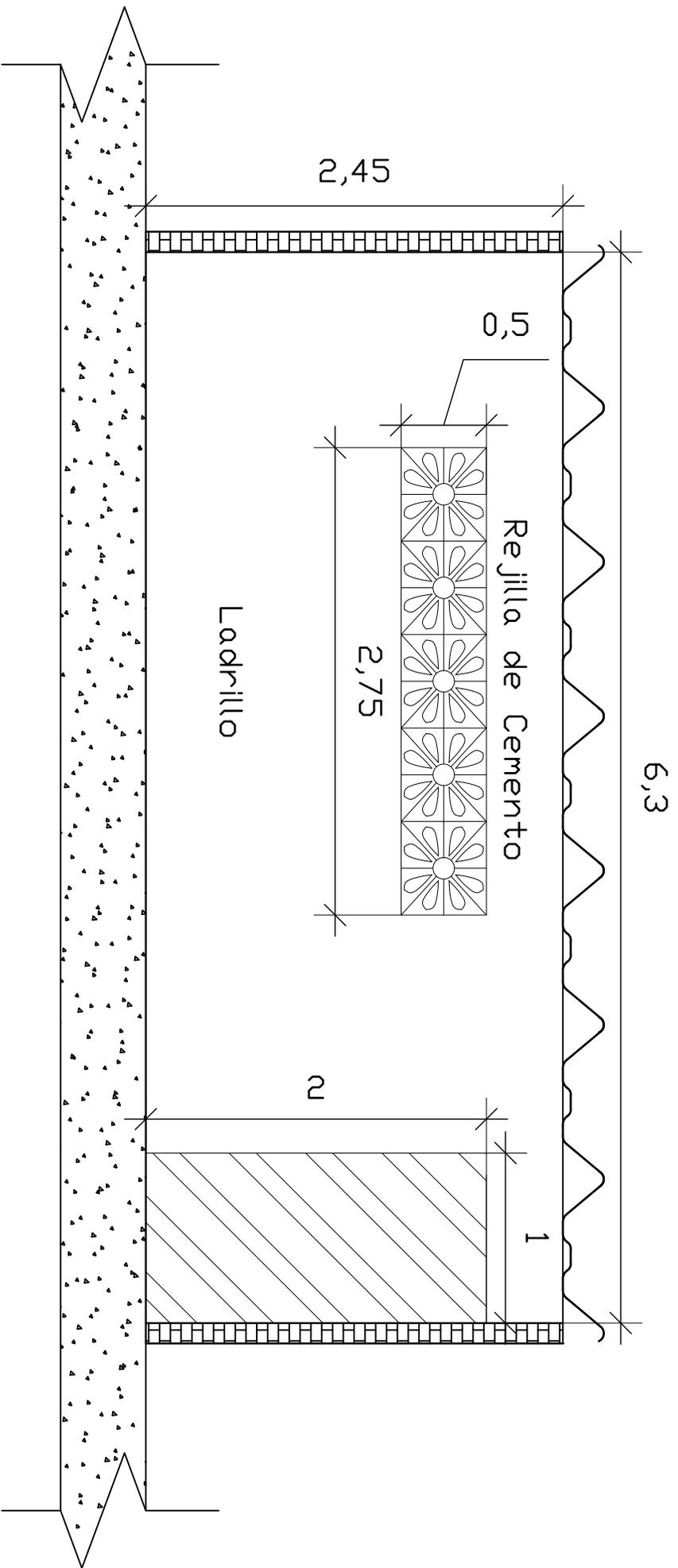
Código: 2002114082

Descripción Materiales Corte 3-3 Salón 2

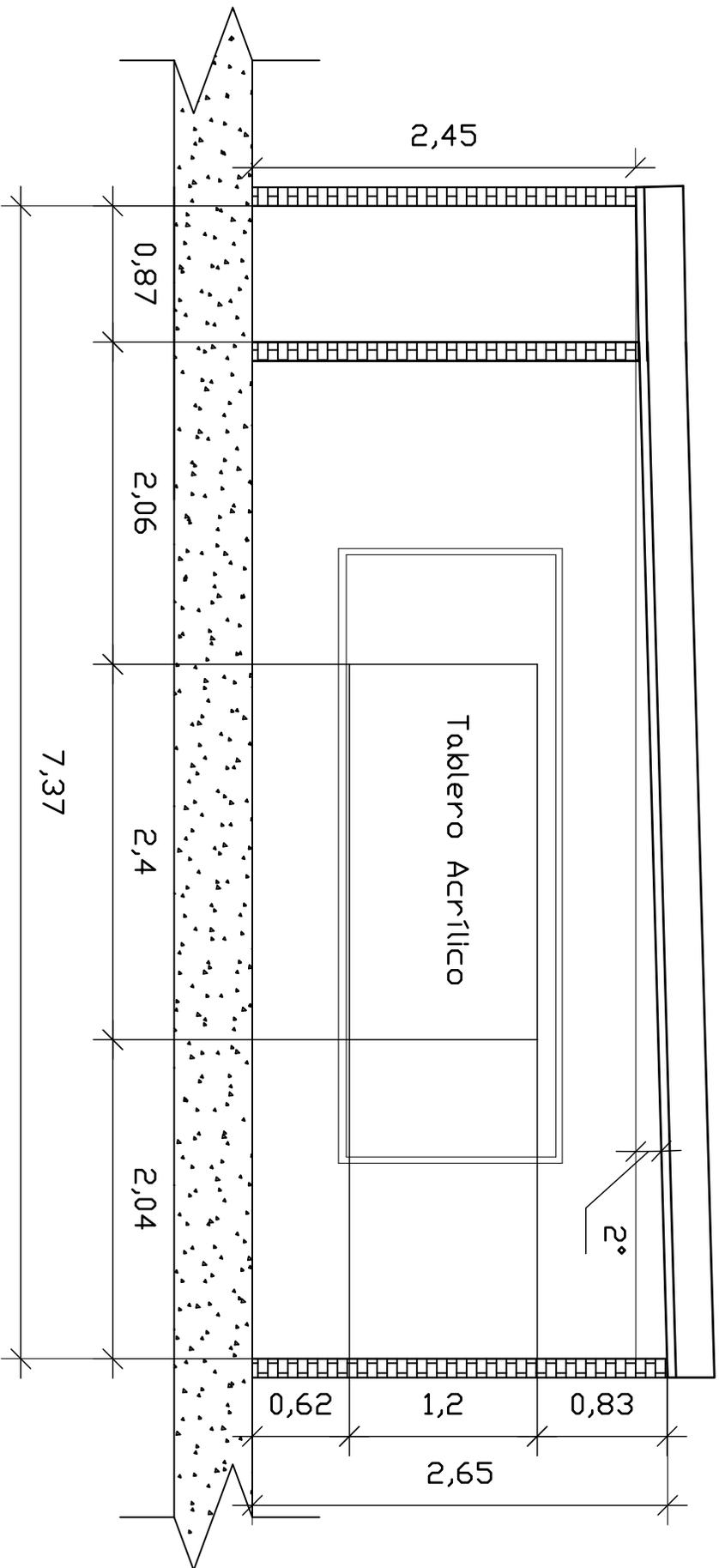
Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

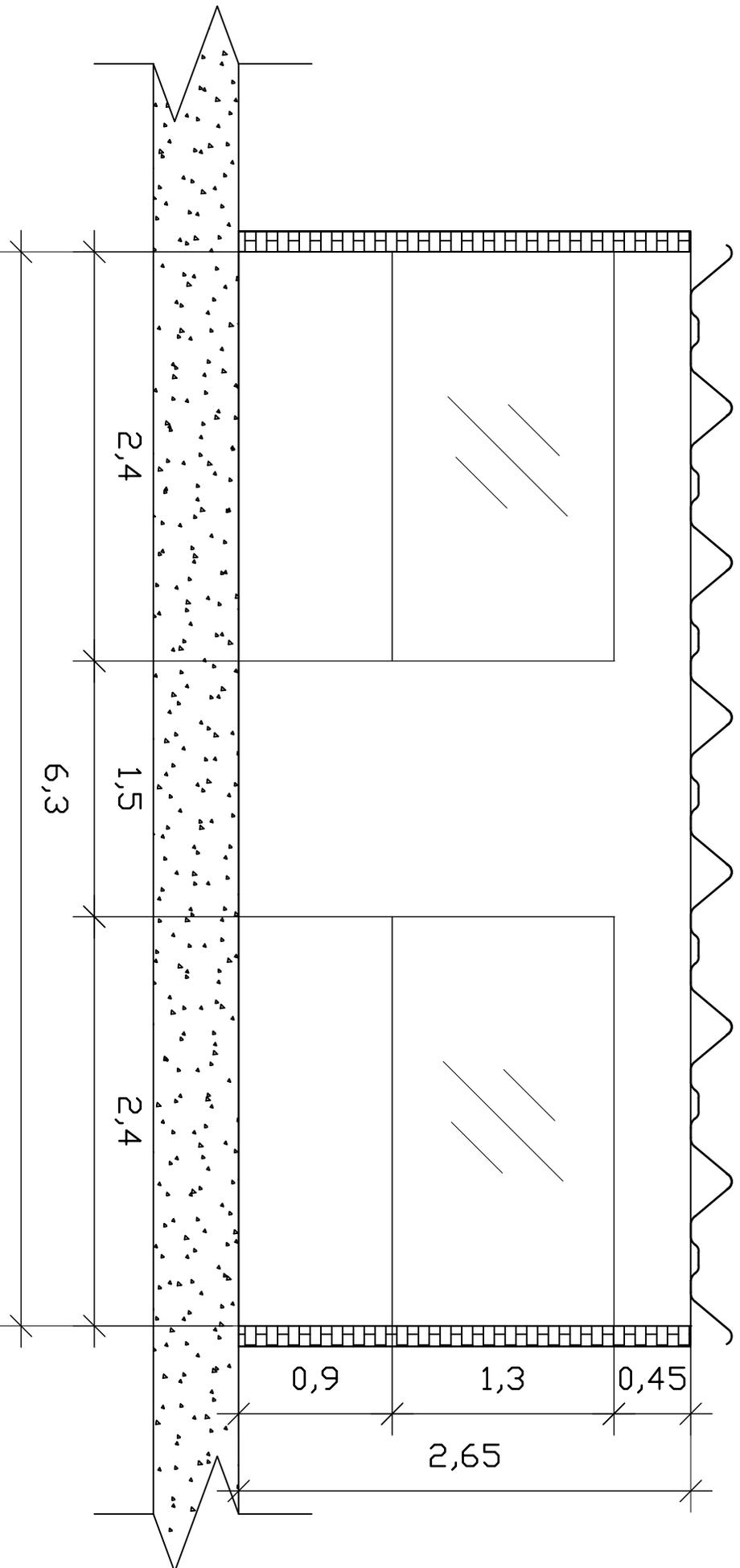
Escala: 1.20



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado Código: 2002114082	Descripción Dimensiones Corte 1-1 Salón 2 Observaciones Medidas en metros	Fecha: Noviembre 2010 Escala: 1.20
---	--	---------------------------------------



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado Código: 2002114082	Descripción Dimensiones Corte 2-2 Salón 2 Observaciones Medidas en metros	Fecha: Noviembre 2010 Escala: 1:20
---	--	---------------------------------------



Realizado por: Angélica

Descripción dimensiones Corte 3-3 Salón 2

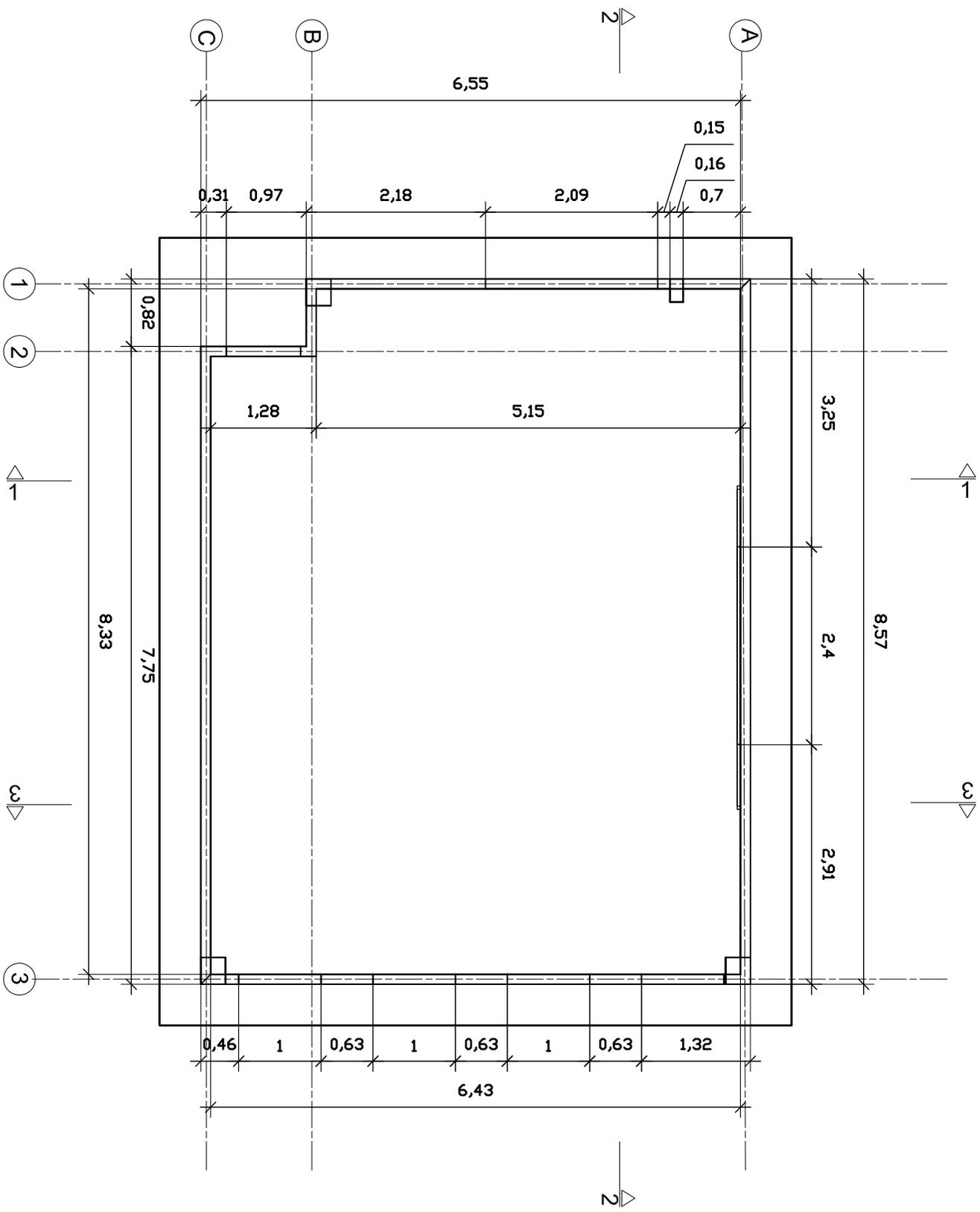
Fecha: Noviembre 2010

V. Sánchez Mercado

Observaciones Medidas en metros

Escala: 1:20

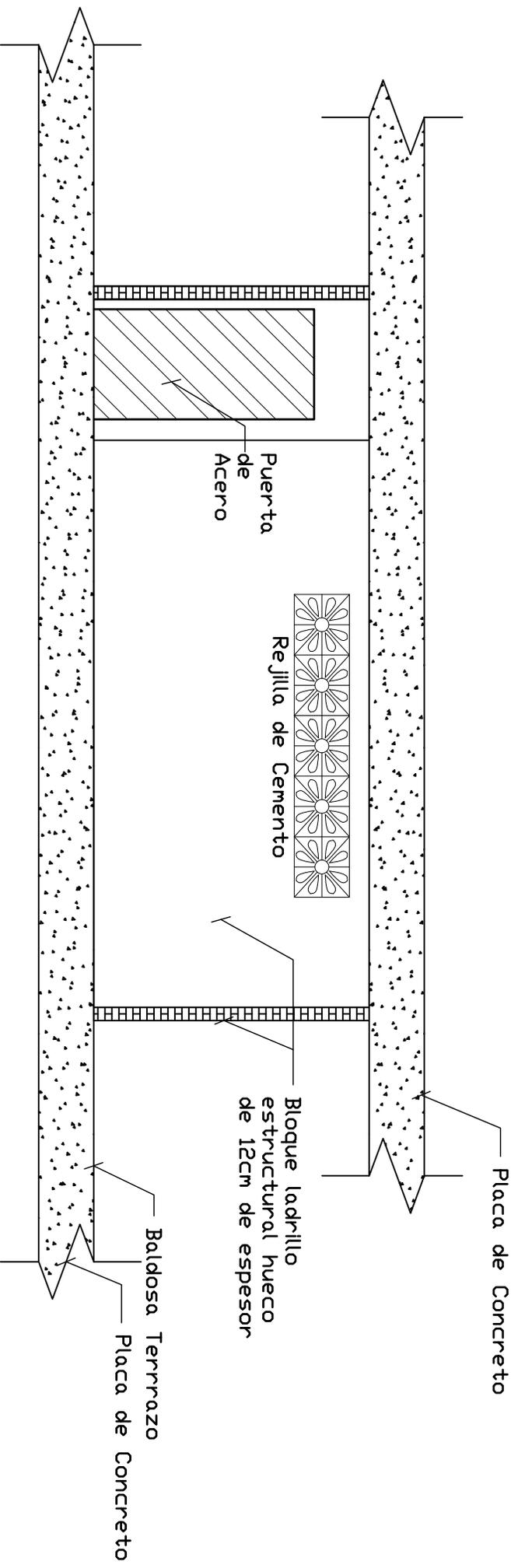
Código: 2002114082



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Planta General Salón 3
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



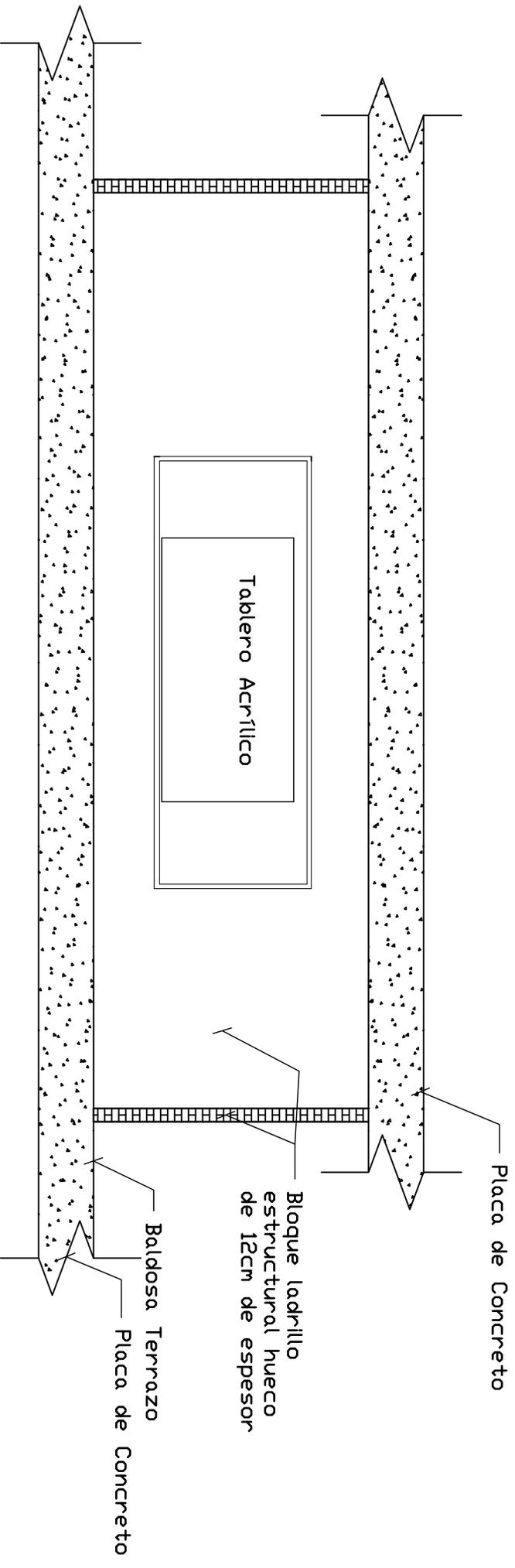
Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales corte 1-1 Salón 3

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

Escala: 1.20



Realizado por: Angélica

V. Sánchez Mercado

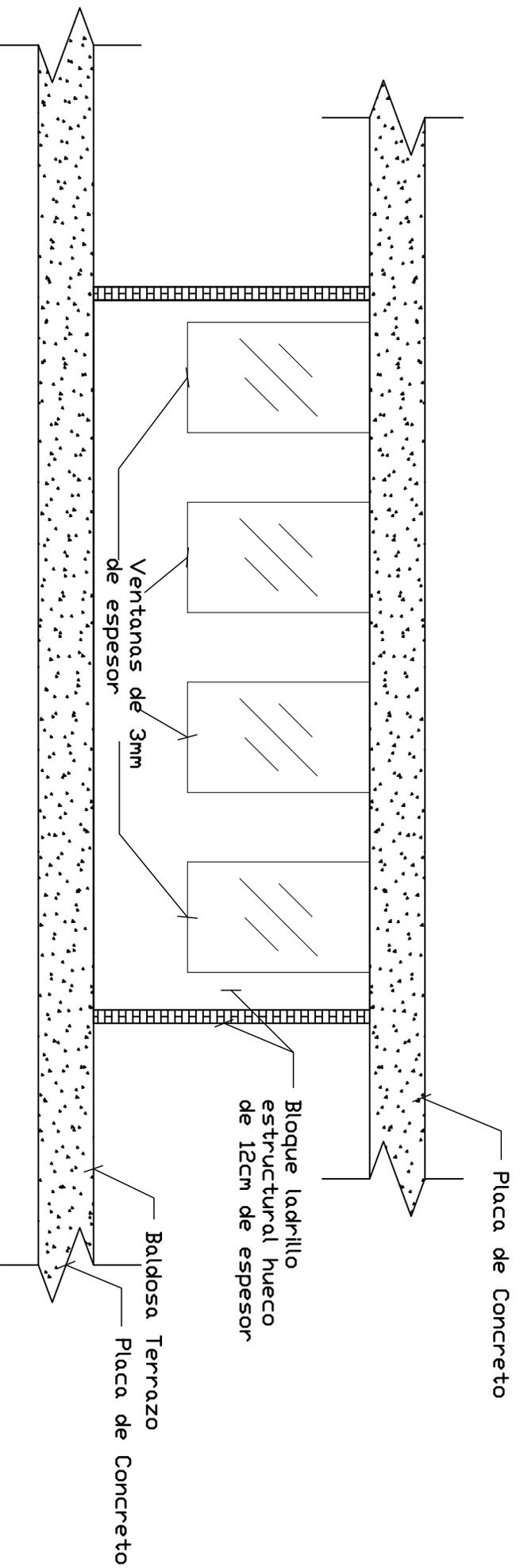
Código:2002114082

Descripción Materiales corte 2-2 Salón 3

Observaciones Medidas en metros

Fecha:Noviembre 2010

Escala: 1.20

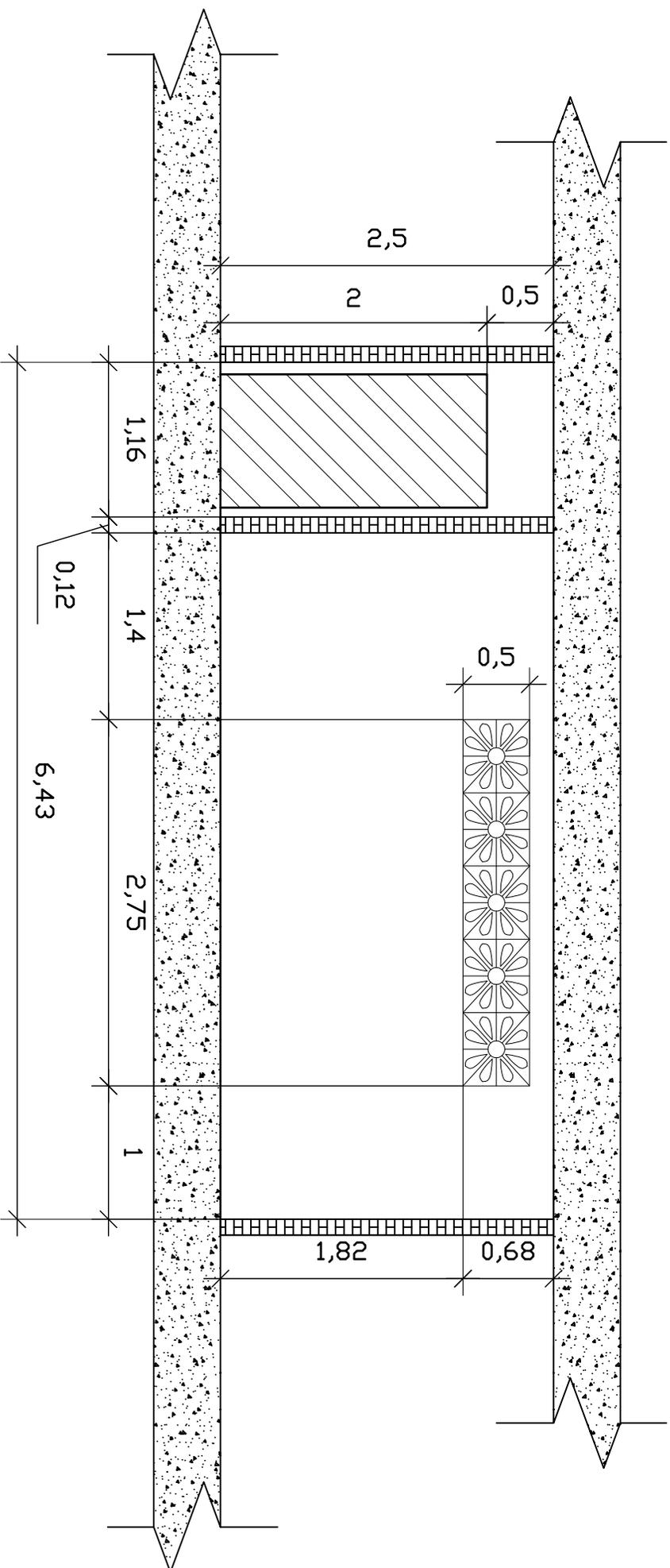


Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales corte 3-3 Salón 3

Observaciones Medidas en metros

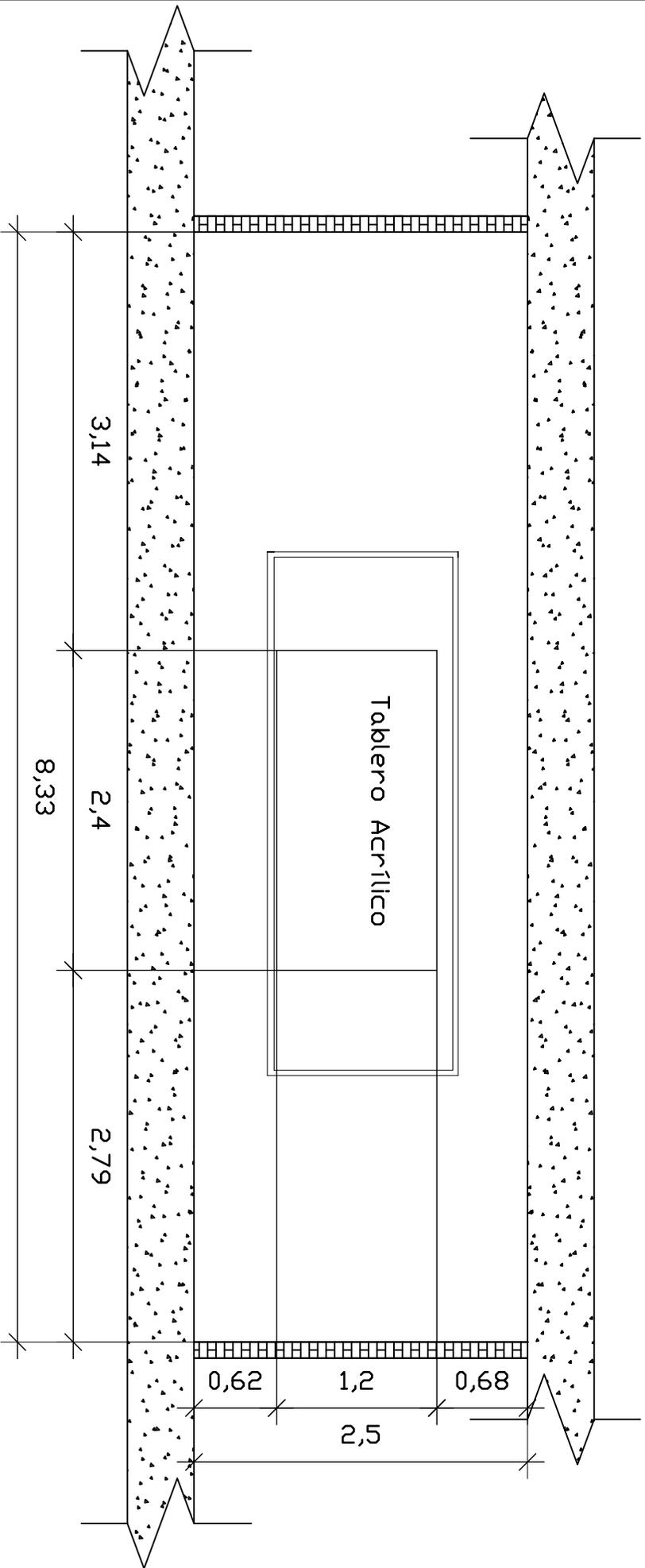
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Dimensiones corte 1-1 Salón 3
 Observaciones Medidas en metros

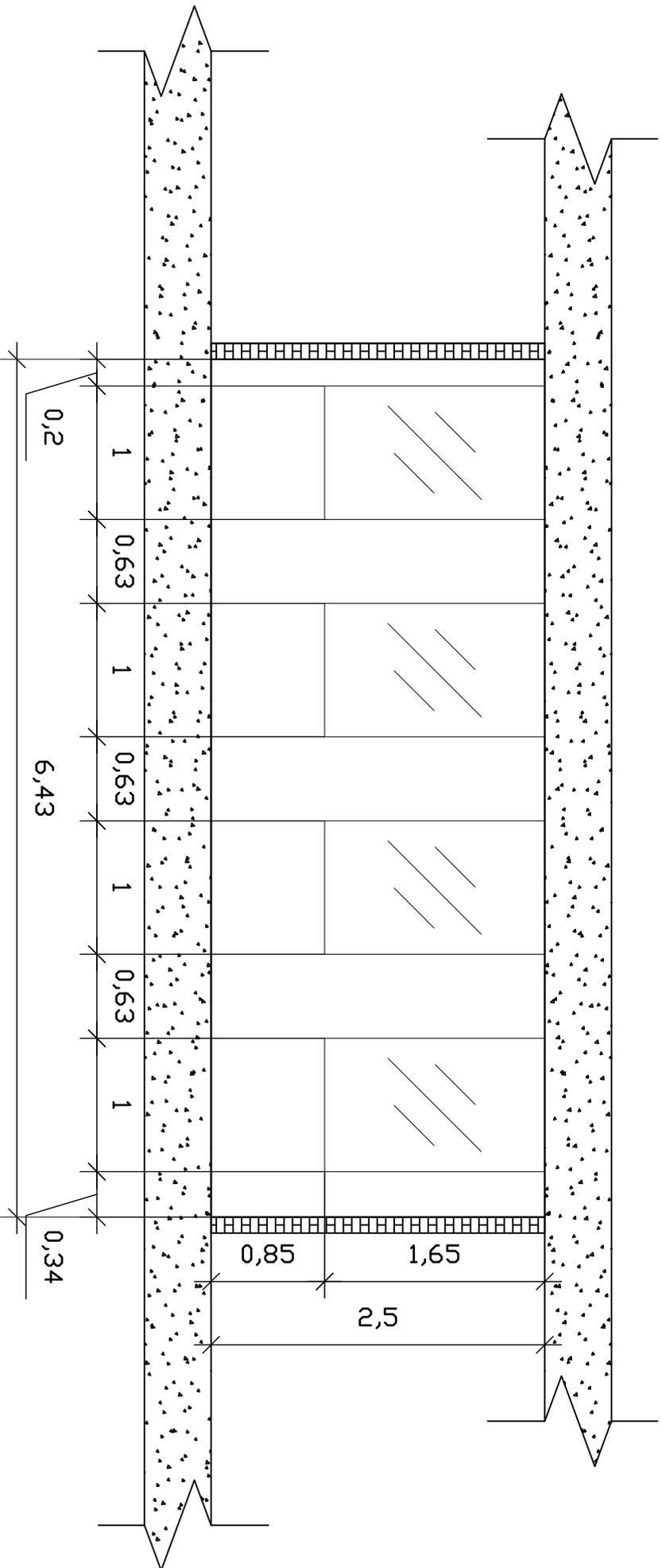
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Dimensiones corte 2-2 Salón 3
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



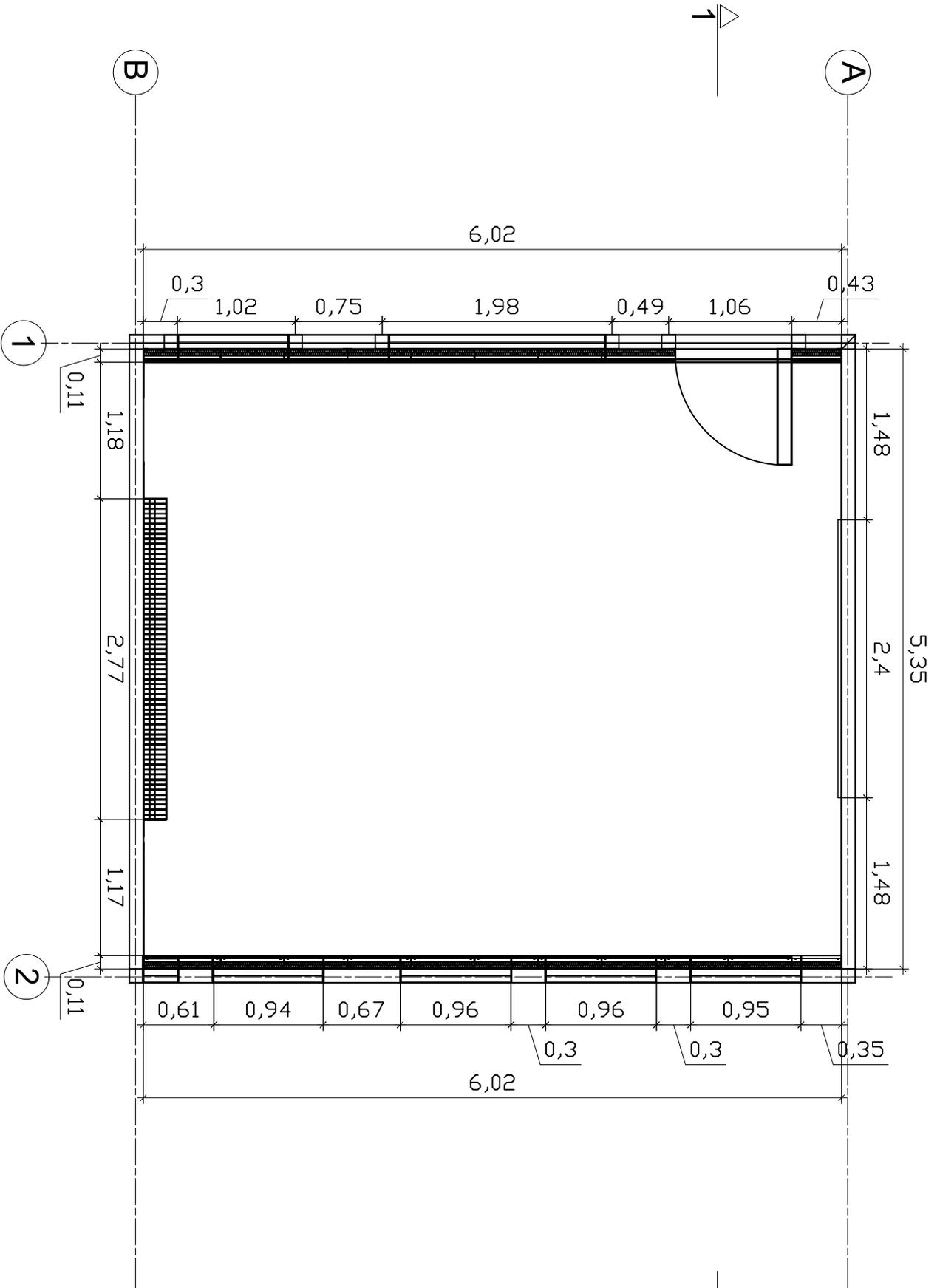
Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Dimensiones corte 3-3 Salón 3

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

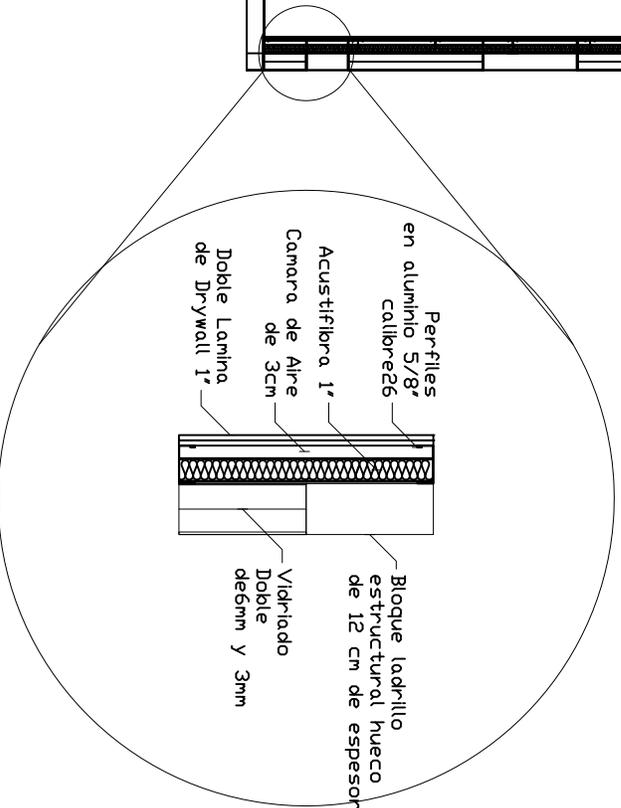
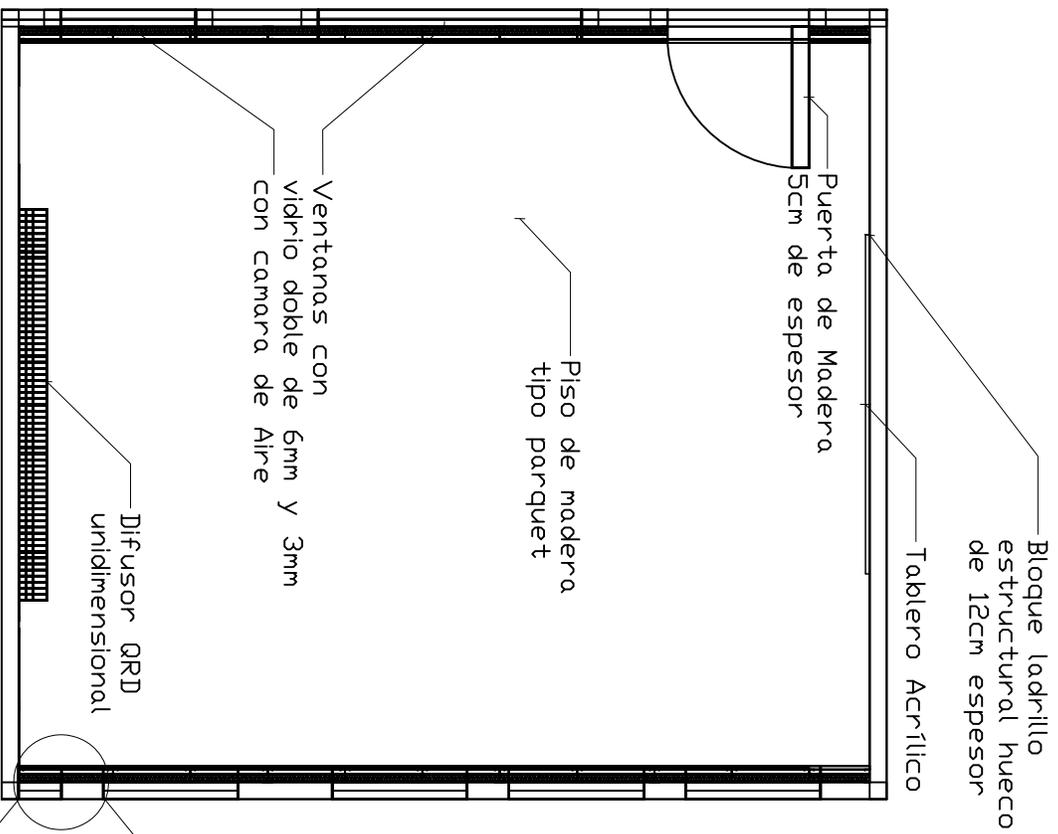
Escala: 1.20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción: Planta general de diseño Salón 1
 Observaciones: Medidas en metros

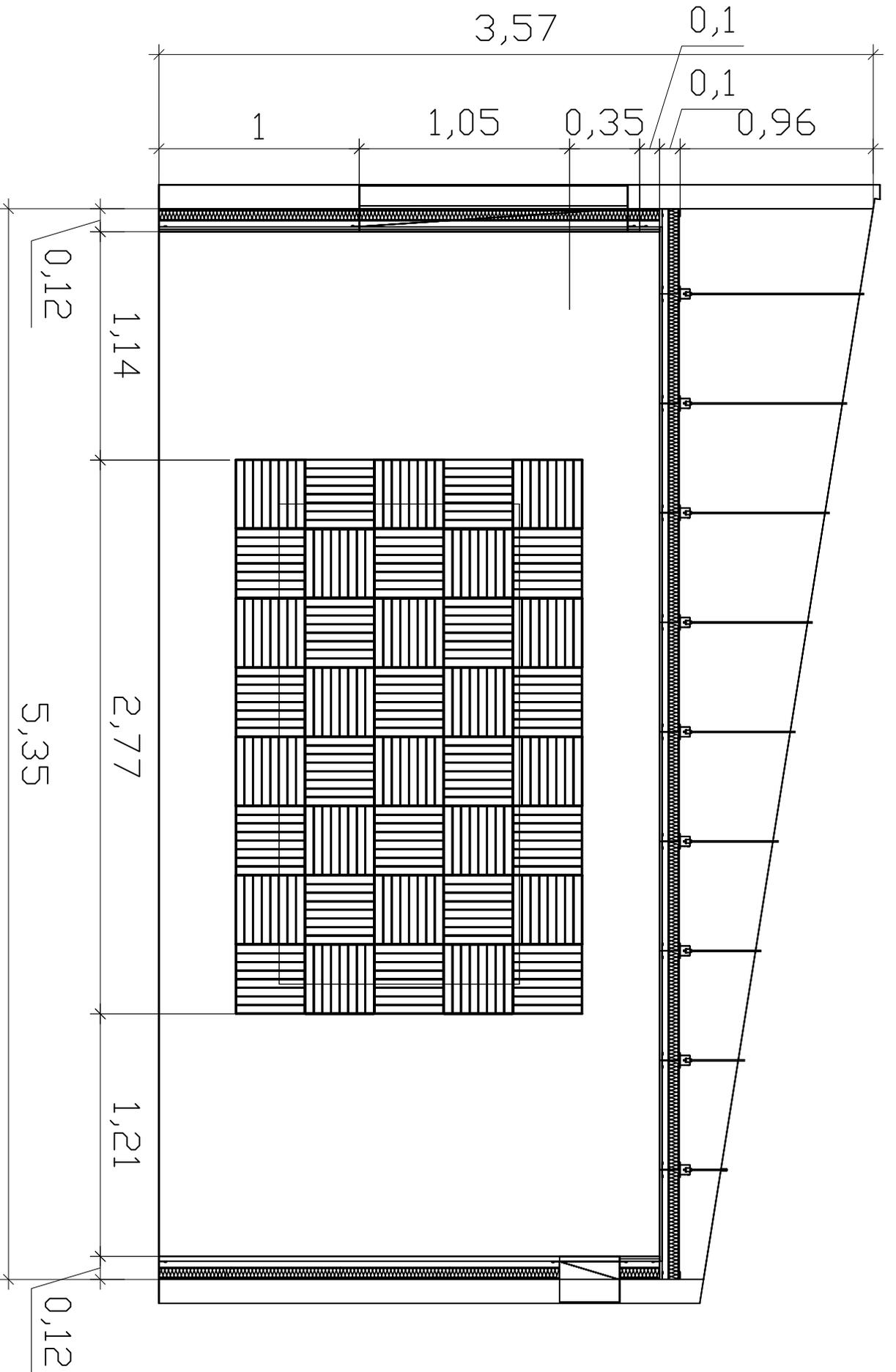
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código: 2002114082

Descripción Materiales de diseño Salón 1
 Observaciones Medidas en metros

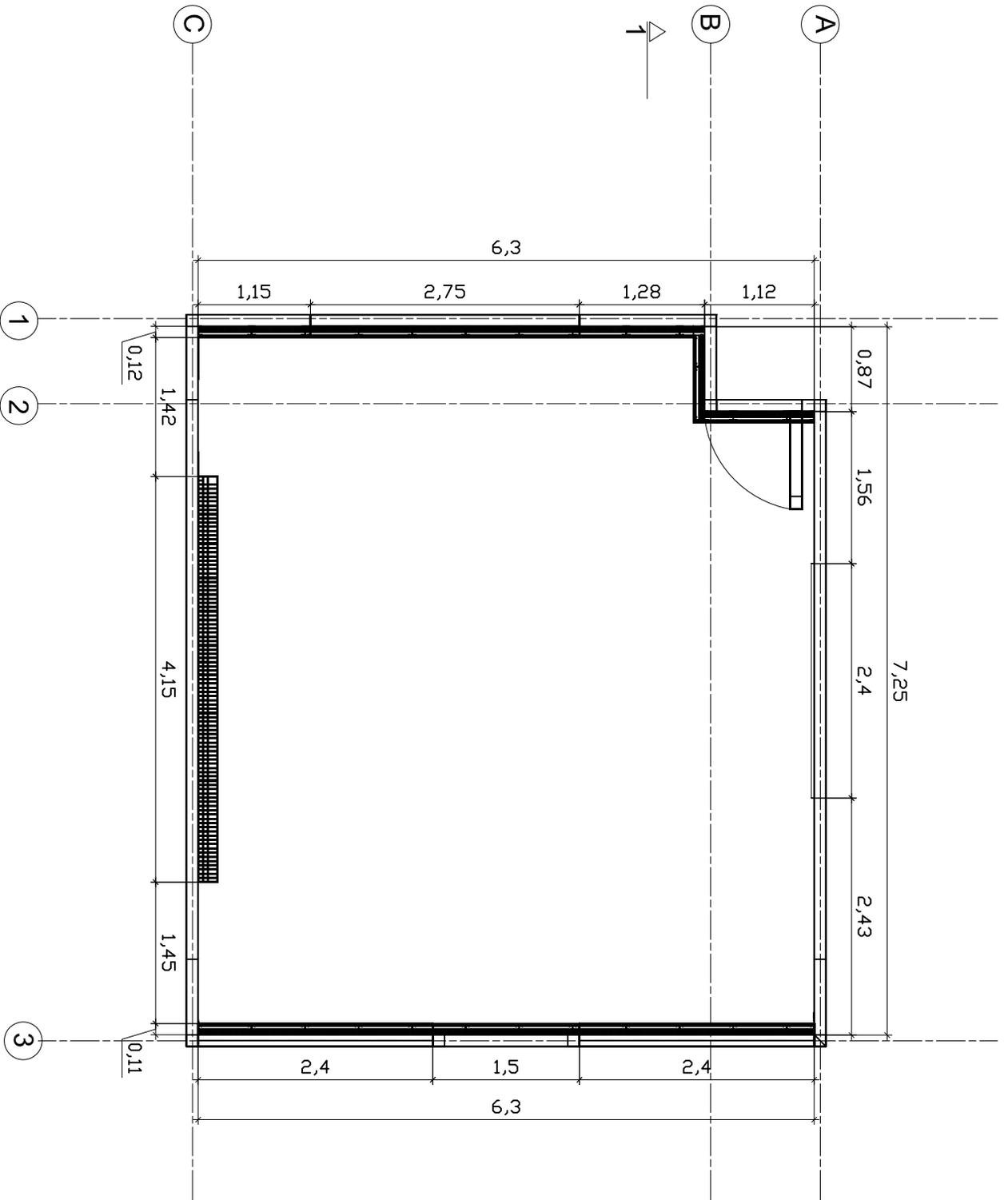
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1:20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código:2002114082

Descripción dimensiones de diseño corte 1-1 Salón 1
 Observaciones Medidas en metros

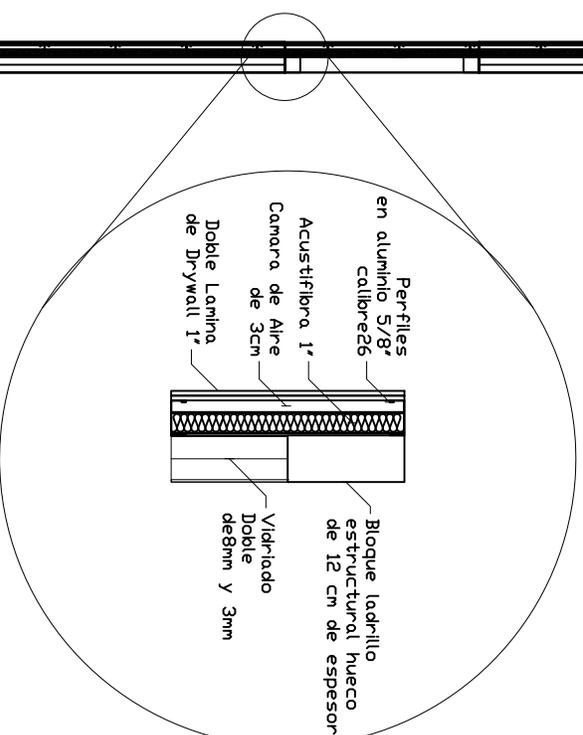
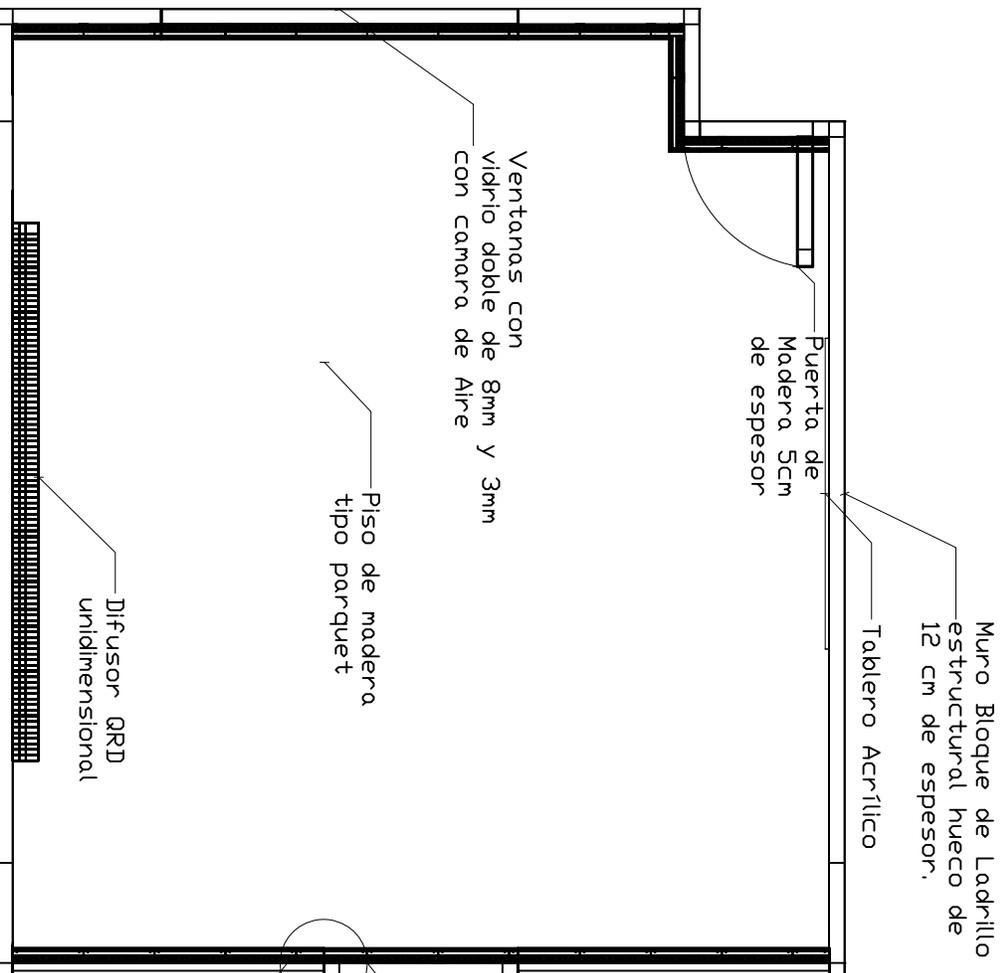
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código:2002114082

Descripción Planta general de diseño Salón 2
 Observaciones Medidas en metros

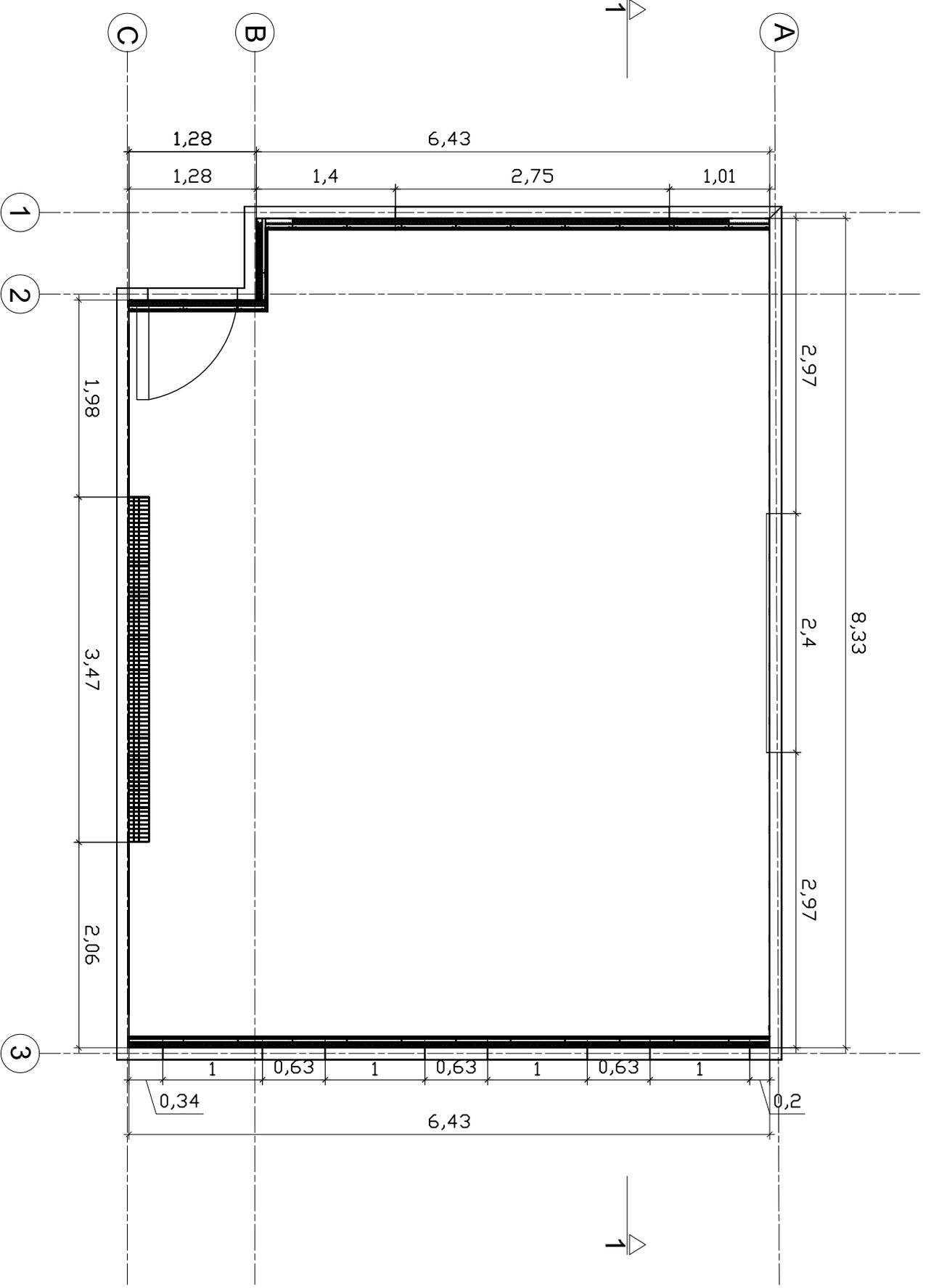
Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



Realizado por: Angélica V. Sánchez Mercado
 Código:2002114082

Descripción Materiales de diseño Salón 2
 Observaciones Medidas en metros

Fecha:Noviembre 2010
 Escala: 1.20

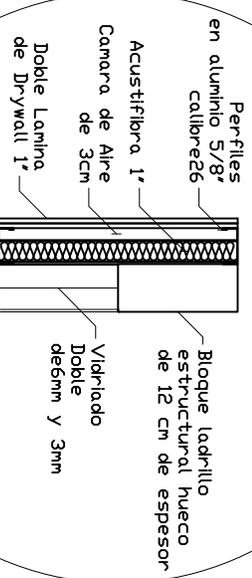
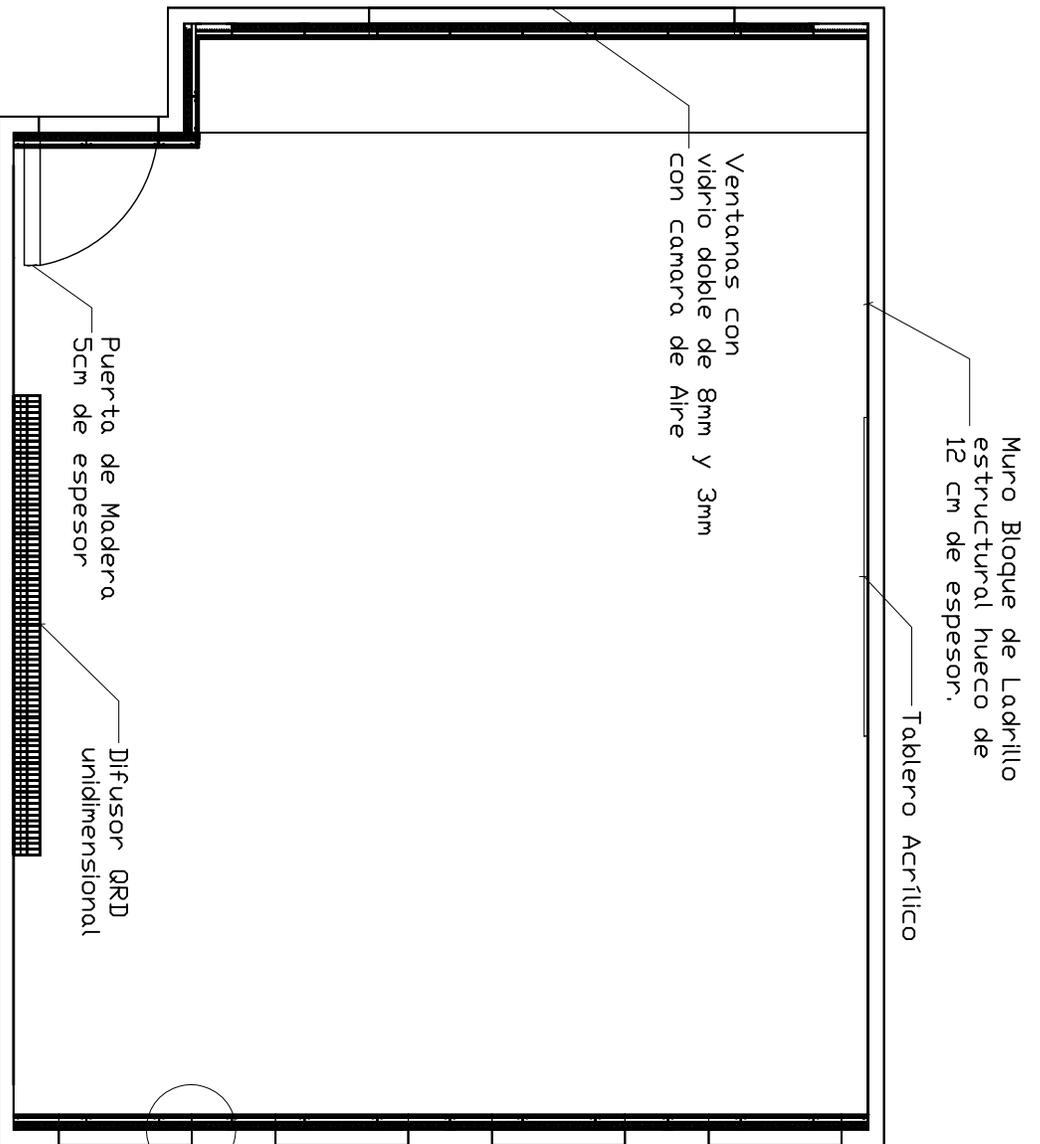


Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código:2002114082

Descripción planta general de diseño Salón 3

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20



Realizado por: Angélica

V. Sánchez Mercado

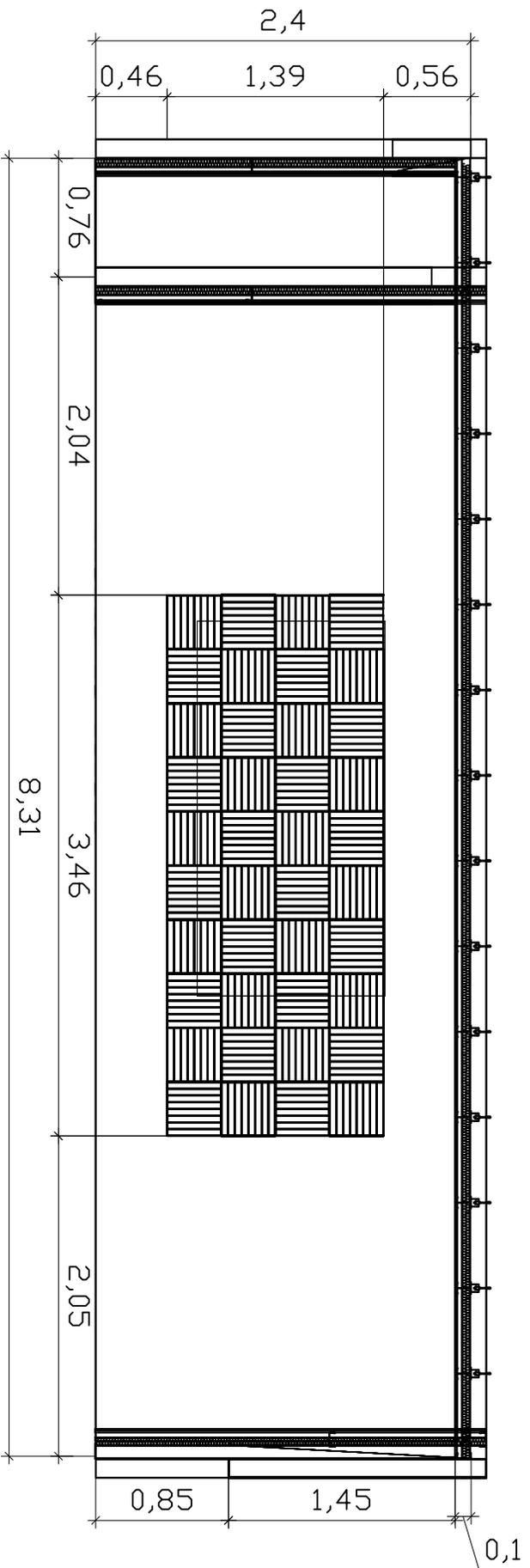
Código:2002114082

Descripción Materiales de diseño Salón 3

Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010

Escala: 1.20



Realizado por: Angélica
 V. Sánchez Mercado
 Código:2002114082

Descripción dimensiones de diseño corte 1-1 Salón 3
 Observaciones Medidas en metros

Fecha: Noviembre 2010
 Escala: 1.20