



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LAS AULAS
TIPO A DEL CENLEX ZACATENCO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica

P R E S E N T A N

**Betanzos Pérez Víctor Daniel
Díaz Díaz Rigoberto**

ASESORES

**M. en C. Amparo Vázquez Saldaña
Ing. José Javier Muedano Meneses**



MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2013

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. VICTOR DANIEL BETANZOS PEREZ
C. RIGOBERTO DIAZ DIAZ**

“ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE LAS AULAS TIPO A DEL CENLEX ZACATENCO”

DISEÑAR ACÚSTICAMENTE LOS SALONES TIPO A DEL CENLEX ZACATENCO.

- **ACONDICIONAR Y AISLAR ACÚSTICAMENTE LOS SALONES TIPO A DEL CENLEX ZACATENCO**
- **RESOLVER LA PROBLEMÁTICA DEL RUIDO DE LOS SALONES TIPO A DEL CENLEX**
- **PROPONER AL CENTRO DE LENGUAS EXTRANJERAS UN PROYECTO PARA LA COLOCACIÓN DE MATERIALES ABSORBENTES EN SUS INSTALACIONES.**

MÉXICO D.F. A 26 DE SEPTIEMBRE DE 2013

ASESORES



ING. AMPARO VAZQUEZ SALDAÑA



ING. JOSE JAVIER MUEDANO MENESES



**ING. PATRICIA LORENA RAMIREZ RANGEL
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en mis decisiones en todo momento

A mis hermanos; Enrique, Nayeli, Cristina y Ernesto por ser parte de la unidad familiar, crecer junto a ellos y ser un ejemplo a seguir

A mi compañero de tesis Daniel por haberme tenido la paciencia necesaria para salir adelante en este proyecto

A mis amigos por apoyarme en los momentos difíciles y por esas experiencias a lo largo de la carrera

A mis maestros y al Instituto Politécnico Nacional por todas las enseñanzas y conocimientos

A mi Karen Guadalupe por estar conmigo en las buenas y en las malas

A Dios por permitirme esta vida...

Rigoberto

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo de tesis primeramente quiero agradecer a Dios por bendecirme, darme la fortaleza e inteligencia de haber concluido satisfactoriamente mis estudios profesionales y hacer este sueño realidad.

Agradezco con todo el corazón a TODA MI FAMILIA por todo el amor brindado y por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas, por enseñarme a luchar por mis sueños a pesar de los fracasos, desvelos y miedos.

En especial a mis Padres; Lorena Pérez García y Víctor Hugo Betanzos de los Santos que con su constante amor y apoyo, llamadas de atención y consejos me hicieron ser una persona responsable.

A mi abuelita Virginia García Rodríguez y tío Oscar Pérez García por todo el amor y enseñanzas de vida que me han regalado, por demostrarme que luchando y siendo buena persona se puede salir adelante y simplemente por ser unos segundos padres para mí.

A mi tía Elsa García Rodríguez y a mi primo Iván García Rodríguez por ser mis compañeros de vida, por su apoyo incondicional, amor y por cada uno de los momentos que han compartido conmigo; me hace tenerles una admiración y agradecimiento especial.

Y a cada integrante de mi familia, tíos y primos que han compartido su vida conmigo, a TODOS MIS AMIGOS que han sabido apoyarme y estar en las buenas y en las malas.

Al Instituto Politécnico Nacional por haberme formado académicamente de la mejor manera, a todos y cada uno de mis maestros por todo el tiempo invertido en mi enseñanza. A Rigoberto Díaz Díaz por ser el Mejor compañero de tesis que pude haber encontrado,

Son muchas personas que han formado parte de mi vida a las cuales quiero agradecerles su amistad, apoyo, consejos en los momentos más difíciles de mi vida, algunos siguen hasta hoy y otros están en mis recuerdos pero sin importar donde estén muchas gracias a todos.

GRACIAS TOTALES

VICTOR DANIEL

OBJETIVO GENERAL

Diseñar acústicamente los salones tipo A del CENLEX Zacatenco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Acondicionar y aislar acústicamente los salones tipo A del CENLEX Zacatenco.

- Resolver la problemática del ruido de los salones tipo A del CENLEX.

- Proponer al centro de lenguas extranjeras un proyecto para la colocación de materiales absorbentes en sus instalaciones.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente los salones del CENLEX presentan problemas de ruido y no cuentan con un acondicionamiento adecuado para impartir clase, desde el punto de vista acústico. Un recinto es acústicamente adecuado o no para alguna actividad en aulas de clase cuando se cumple un tiempo de reverberación óptimo de 0.5 a 1 segundos. En este caso, el tiempo de reverberación obtenido fue mayor a 3 segundos por lo que es importante adoptar acciones correctivas y normativas para mejorar la calidad acústica del recinto.

El diseño de materiales absorbentes que se propone para la mejora acústica de los salones de clase supone un notable aumento en la efectividad de la comunicación oral dentro del salón de clase, logrando así una buena inteligibilidad de la palabra.

Índice

Capítulo I Principios básicos

1.1 Definición de sonido	10
1.2 Física del sonido	10
1.2.1 Frecuencia	10
1.2.2 Amplitud	11
1.2.3 Timbre	12
1.3 Distancia	13
1.4 Velocidad de propagación del sonido (c)	13
1.5 Longitud de onda del sonido (λ)	14
1.6 Nivel de presión sonora (NPS)	14
1.7 Enmascaramiento del sonido	15
1.8 Tiempo de reverberación	17
1.8.1 Fórmula de Sabine	17
1.8.2 Valores recomendados del tiempo de reverberación	18
1.9 Inteligibilidad de la palabra	18

Capítulo II Aislamiento y Acondicionamiento acústico

2.1 Acústica arquitectónica	19
2.1.1 Ecos	19
2.1.2 Reflexiones tempranas	20
2.1.3 Resonancias	20
2.2 El sonido en los recintos	21
2.3 Reflexión, refracción y difracción del sonido	22
2.4 Aislamiento acústico	24
2.4.1 Materiales aislantes	26
2.5 Acondicionamiento acústico	27
2.5.1 Materiales absorbentes	27
2.6 Clasificación general de los recintos	28

Capítulo III Desarrollo

3.1 Ubicación del lugar	29
3.2 Dimensiones y definición de área del salón 204	31
3.3 Mediciones	34
3.3.1 Zonas críticas	34
3.3.2 Procedimiento de medición	35
3.3.3 Pérdida por transmisión	35
3.3.4 Ruido de fondo	43
3.3.5 Prueba de inteligibilidad	44
3.3.6 Tiempo de reverberación	46

Capítulo IV Análisis de diseño y costos	
4.1 Diseño	47
4.2 Costos	51
Conclusiones	52
Referencias Bibliográficas	53
Anexos	
Anexo 1 NOM-081-ECOL-1994	54
Anexo 2 Sonómetro Norsonic	56
Anexo 3 Valores recomendados del índice NC para diferentes locales	58
Anexo 4 Inteligibilidad de la palabra	59
Anexo 5 ANSI S12.60-2002	61
Anexo 6 Tiempos de reverberación	63
Anexo 7 Características de los materiales propuestos	64
Anexo 8 Coeficientes de absorción de algunos materiales	70

CAPÍTULO I

PRINCIPIOS BÁSICOS

1.1 DEFINICIÓN DEL SONIDO

El sonido se puede definir de formas muy diversas. De todas ellas, las más habituales son las siguientes:

- Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico [1].
- Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso [1].

1.2 FÍSICA DEL SONIDO

Desde el punto de vista físico el sonido tiene dos componentes principales: frecuencia y amplitud.

1.2.1 Frecuencia

La frecuencia es la cantidad de oscilaciones por unidad de tiempo, es la que determina si el sonido es más agudo o más grave. A mayor frecuencia el tono del sonido es más agudo; a menor frecuencia más grave (Véase figura 1.1).

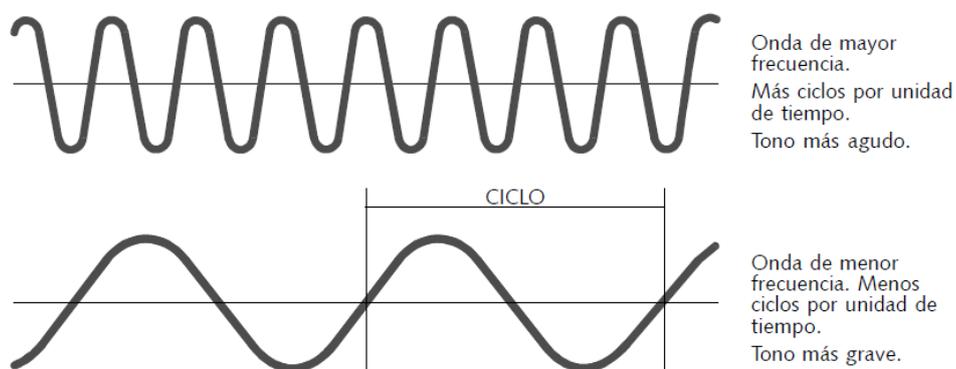


Figura 1.1 Onda de mayor y menor frecuencia

La frecuencia se mide en Hertz (Hz). Un Hz equivale a un ciclo por segundo. El oído humano es capaz de percibir sonidos entre los 20 Hz y 20,000 Hz [2].

1.2.2 Amplitud

La amplitud se refiere a la altura de la onda y significa la intensidad o volumen del sonido. Amplitud cero equivale a silencio, amplitudes pequeñas a sonidos leves y amplitud grande a sonidos fuertes o intensos (Véase figura 1.2).

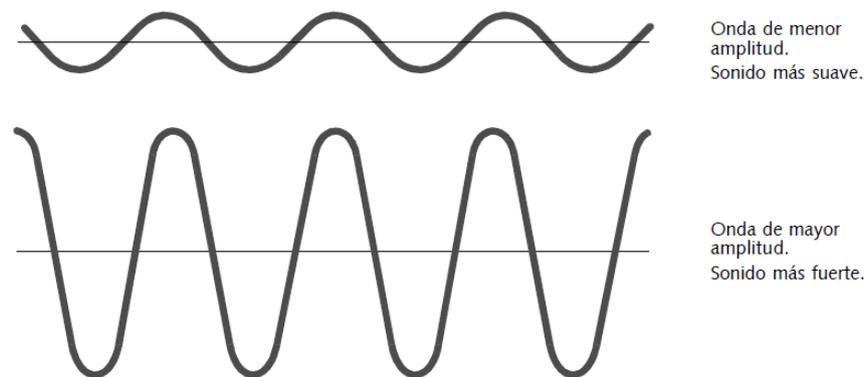


Figura 1.2 Onda de menor y mayor amplitud

La amplitud se mide habitualmente en decibeles (dB). La escala auditiva varía entre 0 dB (umbral de audición) y 130 dB (umbral de dolor). Los sonidos superiores a 110 dB producen sensación dolorosa y la exposición permanente a esos niveles provoca la disminución de la capacidad auditiva (sordera parcial).

La tabla 1.1 compara los valores aproximados de distintos sonidos medidos en decibeles y watts [2].

Tabla 1.1 Valores aproximados de distintos sonidos

	Db	Watts	Ejemplo
	195	25 a 40 millones	Cohete Saturno
	170	100.000	Jet
	160	10.000	Disparo de arma de fuego
	150	1.000	
	140	100	
Umbral de intensidad peligrosa	130	10	Orquesta de 75 instrumentos en <i>fortissimo</i>
	120	1	Martillo neumático grande
	110	0,1	Remachadora
	100	0,01	Automóvil de carrera
	90	0,001	Tren subterráneo
	80	0,0001	Tráfico pesado
	70	0,00001	Canto
	60	0,000001	Una tienda grande
	50	0,0000001	Conversación normal
	40	0,00000001	Canto de pájaros
	30	0,000000001	
	20	0,0000000001	Conversación en voz baja
	10	0,00000000001	Ruido de hojas
	0	0,000000000001	Estudio de grabación en silencio

1.2.3 Timbre

El timbre es la cualidad que hace que se distinga entre dos sonidos de igual frecuencia y amplitud, pero producidos, por ejemplo: por diferentes instrumentos musicales. El timbre modifica la forma de la onda. En la figura 1.3 se mencionan algunos ejemplos [2].

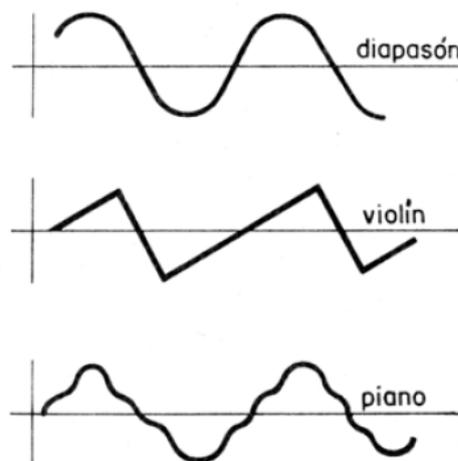


Figura 1.3 Formas de onda de diferentes instrumentos musicales

1.3 DISTANCIA

La propagación del sonido en el aire consume energía. Cada vez que se duplica la distancia entre la fuente y el receptor, el volumen disminuye 6 dB.

Así, un sonido de 60 dB a 2 m, disminuye conforme la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Disminución del sonido en el aire

m	dB
2	60
4	54
8	48
16	42
32	36
64	32

Esta particularidad del sonido se puede utilizar para crear la sensación de profundidad espacial en la escena: dos sonidos de voces a diferente volumen se perciben como de personas ubicadas a distinta distancia.

Diversas investigaciones han mostrado que los humanos no distinguen diferencias de volumen de sonido menores a 3dB, de manera que las variaciones que usemos para simular diferentes distancias de las fuentes deben ser apreciables [2].

1.4 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO (c)

La velocidad de propagación del sonido (c) está en función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y 20 °C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de, aproximadamente, 343 m/s.

Si bien el aire constituye el medio habitual de propagación de las ondas sonoras, conviene tener presente que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a través de él. Por ejemplo, la velocidad de propagación del sonido generado por un tren a través de los rieles es mucho mayor que a través del aire, por lo que la vibración del riel se percibirá mucho antes que el sonido aéreo debido a dicho tren [1].

1.5 LONGITUD DE ONDA DEL SONIDO (λ)

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos (Véase figura 1.4) [1].

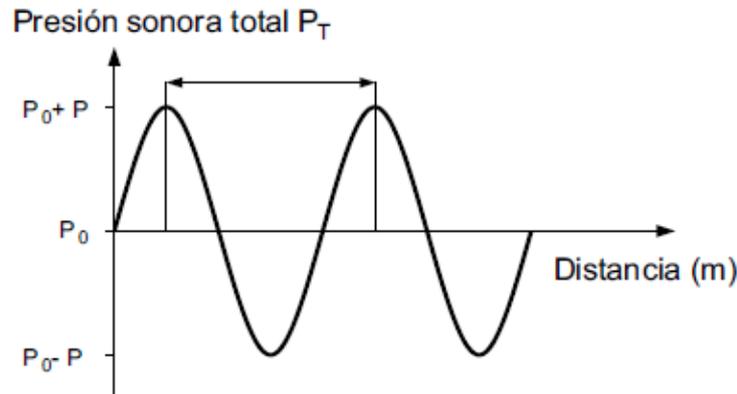


Figura 1.4 Longitud de onda del sonido

1.6 NIVEL DE PRESIÓN SONORA (NPS)

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea de alrededor de 1,000,000 Pascales, ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica.

Llamando P_{ref} (presión de referencia) a la presión de un tono apenas audible (es decir $20 \mu\text{Pa}$) y P a la presión sonora, podemos definir el nivel de presión sonora (NPS) como se indica en la ecuación 1.1:

$$\text{NPS} = 20 \log (P / P_{ref}) \quad (1.1)$$

Donde:

P = Presión sonora determinada [Pa]

P_{ref} = Presión sonora de referencia [$20 \mu\text{Pa}$]

La unidad utilizada para expresar el nivel de presión sonora es el decibel, abreviado dB. El nivel de presión sonora (NPS) de los sonidos audibles varía entre 0 dB y 120 dB. Los sonidos de más de 120 dB pueden causar daños auditivos inmediatos e irreversibles, además de ser bastante dolorosos para la mayoría de las personas [1].

1.7 ENMASCARAMIENTO DEL SONIDO

Cuando el oído está expuesto a dos o más tonos puros de frecuencias diferentes, existe la posibilidad de que uno de ellos enmascare los demás y, por tanto, evite su percepción de forma parcial o total. Del mismo modo, es evidente la dificultad que entraña entender una conversación en presencia de ruido.

El fenómeno del enmascaramiento se explica de una manera simplificada considerando la forma en que la denominada membrana basilar es excitada por tonos puros de diferente frecuencia. La membrana basilar se extiende a lo largo de la cóclea (conducto en forma de caracol de sección prácticamente circular alojado en el interior del oído interno), desde la llamada ventana oval (zona de separación entre el oído medio y el oído interno) hasta el extremo superior de aquélla.

En la figura 1.5 se muestra la amplitud relativa del desplazamiento de la membrana basilar en función de la distancia a la ventana oval, para cuatro tonos de frecuencia diferente [1].

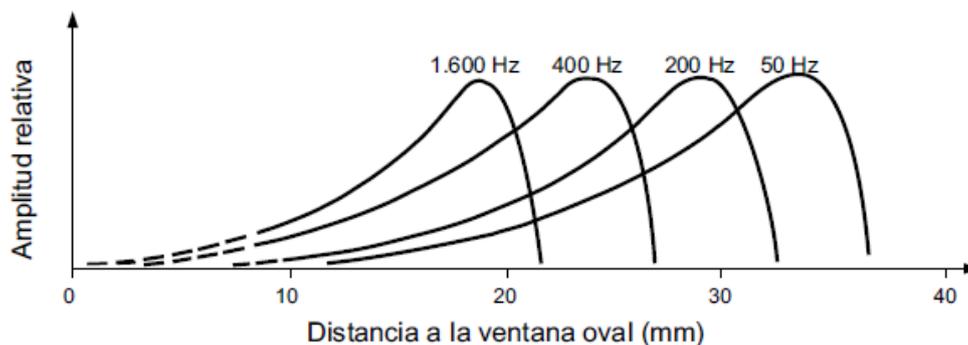


Figura 1.5 Amplitud relativa del desplazamiento de la membrana basilar para diferentes tonos puros

Se observa que los tonos de alta frecuencia producen un desplazamiento máximo en la zona próxima a la ventana oval y que, a medida que la frecuencia disminuye, dicho máximo se va desplazando hacia puntos más alejados de la misma.

Por otra parte, la excitación es asimétrica puesto que presenta una cola que se extiende hacia la ventana oval (zona de frecuencias altas), mientras que por el lado contrario (frecuencias bajas) sufre una brusca atenuación.

La consecuencia de tal asimetría es que un tono de baja frecuencia puede enmascarar otro de frecuencia más elevada, tanto más, cuanto mayor sea su nivel de presión sonora.

Ello es debido a que la zona de frecuencias cubierta por su cola sea más extensa. En cambio, al considerar la situación inversa, el grado de enmascaramiento es claramente inferior.

La figura 1.6 muestra el efecto de enmascaramiento entre dos tonos puros A y B en cuatro situaciones distintas, por lo que a frecuencias y niveles asociados se refiere [1].

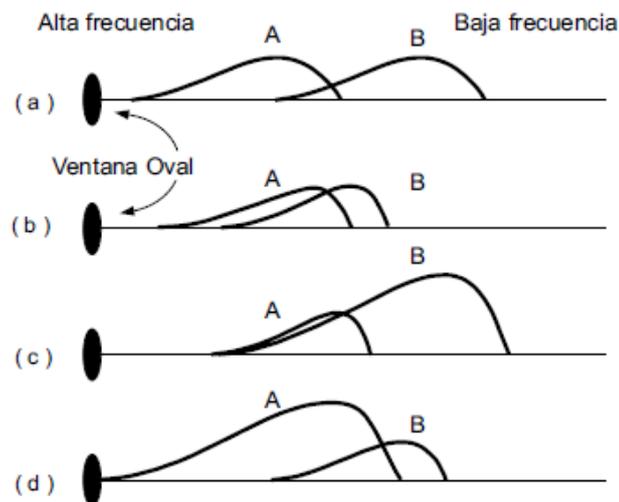


Figura 1.6 Respuesta de la membrana basilar a diferentes combinaciones de tonos puros

- La frecuencia del tono A es mayor que la del tono B y los niveles son semejantes → enmascaramiento inapreciable.
- La frecuencia del tono A es ligeramente mayor que la del tono B y los niveles son semejantes → el tono B enmascara parcialmente el A.
- La frecuencia del tono A es mayor que la del tono B, mientras que su nivel es bastante inferior → por lo tanto se produce un enmascaramiento prácticamente total.
- La frecuencia y el nivel del tono A son superiores a las del tono B → el enmascaramiento producido es mínimo.

1.8 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Después del periodo de las reflexiones tempranas, comienzan a aparecer las reflexiones de las reflexiones, y así sucesivamente, dando origen a una situación muy compleja en la cual las reflexiones se densifican cada vez más. Esta permanencia del sonido aún después de interrumpida la fuente se denomina reverberación.

Ahora bien; en cada reflexión, una parte del sonido es absorbido por la superficie, y otra parte es reflejada. La parte absorbida puede transformarse en minúsculas cantidades de calor, o propagarse a otra habitación vecina, o ambas cosas. La parte reflejada mantiene su carácter de sonido, y viaja dentro del recinto hasta encontrarse con otra superficie, en la cual nuevamente una parte se absorbe y otra parte se refleja. El proceso continúa así hasta que la mayor parte del sonido sea absorbido, y el sonido reflejado sea ya demasiado débil para ser audible, es decir, se extinga.

Para medir cuánto demora este proceso de extinción del sonido, se introduce el concepto de tiempo de reverberación T_R , técnicamente definido como el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial (se ha elegido 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente). En algunas publicaciones se suele representar también este valor con el símbolo RT_{60} , formado por la sigla en inglés de reverberation time (tiempo de reverberación), seguida por la referencia a los 60 dB [3].

1.8.1 Fórmula de Sabine

En 1988 W. C. Sabine propuso la primera ecuación que permitía calcular el tiempo de reverberación (T) en un recinto.

La cantidad de energía absorbida por una superficie depende de su tamaño y del material del que esté construida. Estas dos características se combinan en una cantidad denominada área de absorción efectiva (A_{ef}), que se define como el producto de su área real (S) por el coeficiente de absorción (α).

El coeficiente de absorción de los materiales depende de la frecuencia, por lo que el tiempo de reverberación también.

La otra cantidad que afecta al decrecimiento del sonido es la rapidez con la que la energía sonora llega hasta las paredes antes de ser reflejada o absorbida. Esto depende de la intensidad del sonido ambiente, que a su vez depende el volumen de la sala (V) [7].

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente:

$$T = \frac{0.16V}{A_{ef}} = \frac{0.16V}{S\alpha} = \frac{0.16V}{\sum S_i\alpha_i} \quad (1.2)$$

1.8.2 Valores recomendados del tiempo de reverberación

Habitualmente, cuando se establece un único valor recomendado de RT para un recinto dado, se suele hacer referencia al obtenido como media aritmética de los valores correspondientes a las bandas de 500 Hz y 1 kHz. Se representa por RTmid.

En general, el valor más adecuado de RTmid depende tanto del volumen del recinto como de la actividad a la que se haya previsto destinarlo. Por ejemplo, cuando se trata de salas destinadas a la palabra, es conveniente que los valores de RT sean bajos, con objeto de conseguir una buena inteligibilidad, mientras que en el caso de salas de conciertos son recomendables unos valores apreciablemente más elevados a fin de que la audición musical resulte óptima.

En la tabla 1.3 se dan los márgenes de valores recomendados de RTmid para diferentes tipos de salas en el supuesto de que estén ocupadas [1].

Tabla 1.3 Márgenes de valores recomendados de RTmid en función del tipo de sala

TIPO DE SALA	RT _{mid} , SALA OCUPADA (EN s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

1.9 INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

Con referencia particular a las especificaciones y pruebas de sistemas de comunicación hablada, la inteligibilidad denota el grado al cual los escuchas entrenados pueden identificar palabras y frases que son habladas por oradores entrenados, y transmitidas a los escuchas a través de un sistema de comunicación. Las mediciones estadísticas de la inteligibilidad para evaluar los sistemas de comunicación, son realizadas con personas, más que con instrumental electrónico.

Se plantearon en 1910 y se perfeccionaron con la introducción del teléfono y el advenimiento de los sistemas electrónicos de comunicación en la segunda guerra mundial. Son considerados como los métodos más precisos y confiables en lo que a mediciones de la inteligibilidad se refiere [10].

CAPÍTULO II

AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

2.1 ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA

Esta es la rama de la acústica donde podemos observar los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea un salón de clases, un auditorio, un estudio de grabación, etc.; en sí todo aquel lugar, en el que se pretenda acondicionar acústicamente para reducir riesgos en la salud o tener una mejor inteligibilidad de la palabra.

Las habitaciones o salas dedicadas a una aplicación determinada (por ejemplo salones de clases destinados a la enseñanza, para conferencias o para la grabación de música) deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación. Por cualidades acústicas de un recinto entendemos una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las reflexiones tempranas, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, etc. [8].

2.1.1 Ecos

El fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras del sonido es el eco, consistente en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms (o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo t relacionado con la distancia d a la superficie más próxima por la expresión 2.1:

$$t = \frac{2d}{c} \quad (2.1)$$

Donde c es la velocidad del sonido, es decir 343 m/s. El factor 2 se debe a que el sonido recorre de ida y de vuelta la distancia entre la fuente sonora y la superficie. De esta fórmula se deduce que para tener un eco la superficie más próxima debe estar a unos 17 m. Cuando hay dos paredes paralelas algo distantes se puede producir un eco repetitivo [8].

2.1.2 Reflexiones tempranas

Cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo, y además el sonido reflejado en cada pared. Las primeras reflexiones recibidas, que se encuentran bastante separadas en el tiempo, se denominan reflexiones tempranas. Esta situación se ilustra en la figura 2.1.

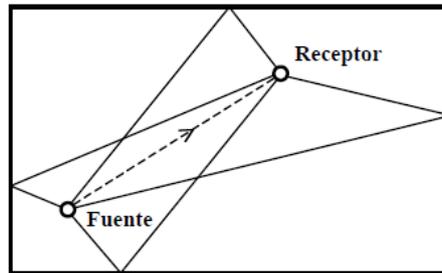


Figura 2.1 En línea de puntos, el sonido directo.
En líneas llenas, algunas de las primeras reflexiones o reflexiones tempranas.

En salas no demasiado grandes, las primeras reflexiones están bastante cerca en el tiempo unas de otras, de manera que no se llegan a percibir como eco [8].

2.1.3 Resonancias

En las salas pequeñas, aparece un tercer elemento que incide en la calidad acústica, que son las resonancias o modos normales de vibración. Esto sucede como consecuencia de las reflexiones sucesivas en paredes opuestas. Si en una habitación se genera una onda sonora que viaja perpendicularmente a dos paredes enfrentadas, al reflejarse en una de ellas lo hará también perpendicularmente, de modo que vuelve sobre sí misma y posteriormente se reflejará en la pared opuesta. Así, se genera lo que se denomina una onda estacionaria, es decir una onda que va y vuelve una y otra vez entre las dos paredes [8].

Esta onda es, de hecho, una onda sonora que se escuchará precisamente como un sonido. Si la distancia entre las dos paredes es L , la longitud de tal onda es $2L$, y por consiguiente deberá cumplirse que:

$$2L = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

Donde **c** es la velocidad del sonido (345 m/s) y **f** la frecuencia del sonido resultante. De aquí se puede obtener la frecuencia, que resulta ser:

$$f = \frac{c}{2L} \quad (2.3)$$

2.2 EL SONIDO EN LOS RECINTOS

El estudio del sonido en los recintos involucra, no sólo, la consideración de las reflexiones del sonido en el volumen considerado, sino también investigaciones acerca de cómo medir el sonido en tales condiciones y el efecto que los diversos materiales tienen sobre la absorción y el control del sonido. Por otra parte, es de gran importancia el comportamiento del sonido en los espacios cerrados, la comprensión de las preferencias personales de los oyentes, sea que se encuentren en la sala donde se produce la música, o que escuchen remotamente la captación de un micrófono. Los criterios psicológicos en el diseño acústico han preocupado a muchos investigadores y han de tenerse siempre presentes.

Dos condiciones extremas en el estudio del sonido en los recintos pueden ser analizadas y comprendidas fácilmente. En uno de los extremos se tienen los recintos pequeños de formas sencillas, tales como las cajas rectangulares, los tubos cilíndricos, o las cáscaras esféricas. En estos casos, el campo sonoro interior puede describirse en términos matemáticos precisos, aunque el análisis resulte complicado si las paredes del recinto están cubiertas en todo o en parte con materiales acústicos absorbentes.

En el otro extremo se tienen los recintos muy grandes e irregulares en los cuales no es posible una descripción exacta del campo sonoro, pero que permiten una descripción estadística confiable de las condiciones medias del local. Esto es análogo al estudio que un médico podría hacer de un individuo en particular acerca del número de años que puede vivir, en contraste con el estudio de una población entera sobre bases estadísticas para determinar la vida media probable de un hombre. Como es de esperar, el estudio estadístico conduce a fórmulas más sencillas que las del estudio particular de cada caso [3].

2.3 REFLEXIÓN, REFRACCIÓN Y DIFRACCIÓN DEL SONIDO

De la misma forma en que ocurre con la luz, o las ondas en un estanque, las ondas sonoras pueden ser reflejadas, difractadas y refractadas, veamos más de cada uno de estos fenómenos acústicos. Se puede encontrar el fenómeno de la reflexión en el rebote de la onda sobre un medio no transparente al sonido (Ver figura 2.2), una pared de hormigón por ejemplo, este es el fenómeno más importante a tener en cuenta al diseñar una sala donde la calidad del sonido sea importante.

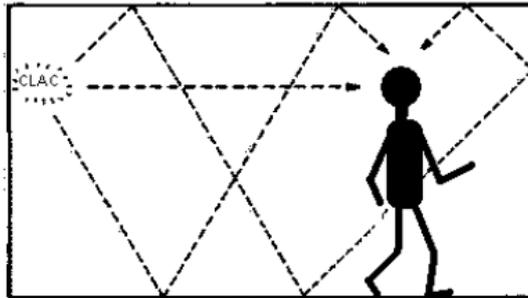


Figura 2.2 Reflexión del sonido

Se puede ver que el comportamiento de la onda es similar al de la luz y los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. Esto puede dar lugar a que se recibe en un recinto, tanto el sonido original como el reflejado, si el tiempo transcurrido entre un sonido y otro es de $1/10$ de segundo se produce el fenómeno de la reverberación.

Ahora bien la difracción es un fenómeno puramente ondulatorio; al igual que ocurre en las ondas de un estanque a las que se les opone un obstáculo, si este tiene una perforación de un tamaño mayor que la longitud de onda, estas se transmiten como si el origen de las ondas fuera la perforación. Cuando la onda sonora tropieza con una pared, dicha onda es desviada hacia la parte posterior del obstáculo, tal y como podemos observar en la figura 2.3.

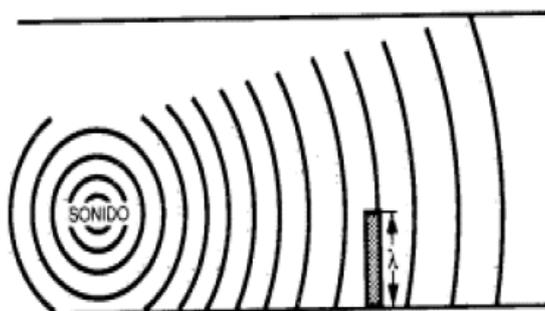


Figura 2.3 Difracción del sonido

Cuando la longitud de onda es mayor que el tamaño del obstáculo, el sonido es transmitido por difracción, en caso contrario se producen sombras detrás del obstáculo.

Como se sabe la longitud de onda está relacionada con la velocidad y la frecuencia por la ecuación: $\lambda = c/f$ [m] donde λ es la longitud de onda, c la velocidad del sonido y f la frecuencia (La velocidad del sonido en el aire a una temperatura de 20 °C es de 343 m/s.).

Véase ahora el fenómeno de la refracción, este fenómeno se da debido a las variaciones del medio transmisor, o al cambio de medio, modificando la velocidad y la dirección de la onda sonora; sólo se observa lo que ocurre en un medio que presenta variaciones de presión o de temperatura. El cambio de presión más interesante en la práctica es el debido al viento. Generalmente la velocidad del viento es pequeña cerca de la tierra pero aumenta con la altura provocando que la onda sonora que se dirige en el mismo sentido que el viento, sea desviada hacia tierra, mientras que la que se dirige en sentido contrario lo hace hacia arriba. En la figura 2.4 se representa dicho fenómeno de la refracción por el viento.

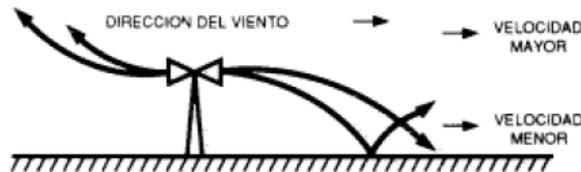


Figura 2.4 Refracción por el viento

2.4 AISLAMIENTO ACÚSTICO

El aislamiento acústico consiste en impedir la propagación de una señal sonora a través del aire dentro del mismo recinto. Evitar que el ruido trascienda hacia el exterior y, recíprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior. Esto es mediante diferentes obstáculos reflectores para los que son necesarias paredes duras y pesadas que reflejan el sonido, pero no lo absorbe.

En una primera aproximación al problema, se observa que el aislamiento sonoro se logra interponiendo una pared o tabique entre la fuente sonora y el receptor. La aislación es tanto 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 el porqué la música del vecino se escucha mucho más la base rítmica de la percusión (baja frecuencia) que las melodías, por lo general más agudas (alta frecuencia).

Un análisis más detallado de un recinto acústico indica que es posible obtener una mayor aislación acústica por medio de tabiques dobles, o, más generalmente, múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material (por ejemplo 20 cm de espesor de hormigón) se puede sacar mayor provecho si se divide en dos partes (en este caso dos paredes de 10 cm cada una) y se separa 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 todavía mayor.

En la tabla 2.1 se muestra una lista de varios materiales usados para absorción, en función de varias frecuencias, algunos de ellos se emplearon para el cálculo del tiempo de reverberación actual del recinto.

Tabla 2.1 Coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia

Materiales	Coeficientes					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ladrillo, sin enlucir	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Ladrillo, sin enlucir, pintado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Revoque de cal y arena	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
Placa de yeso	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Moqueta sobre hormigón	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Bloque de hormigón ligero poroso	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Bloque de hormigón pintado	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Suelo de hormigón o terrazo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Mármol o azulejos	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Madera	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Panel de madera aglomerada	0.47	0.52	0.50	0.55	0.58	0.63
Parquet	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Alfombra de goma de 0.5 cm de espesor	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10
Cortina 475 g/m ²	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
Espuma de poliuretano de 50 mm (Fonac)	0.15	0.25	0.50	0.94	0.92	0.99
Espuma de poliuretano de 75 mm (Fonac)	0.17	0.44	0.99	1.00	1.00	1.00
Espuma de poliuretano de 50 mm (Sonex)	0.07	0.32	0.72	0.88	0.97	1.00
Espuma de poliuretano de 75 mm (Sonex)	0.13	0.53	0.90	1.00	1.00	1.00
Lana de vidrio de 14 kg/m ³ y 25 mm de espesor	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Lana de vidrio de 14 kg/m ³ y 50 mm de espesor	0.25	0.45	0.70	0.80	0.85	0.85
Lana de vidrio de 35 kg/m ³ y 25 mm de espesor	0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00
Lana de vidrio de 35 kg/m ³ y 50 mm de espesor	0.30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00
Ventana de vidrio ordinaria	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Pared de ladrillo enlucida con yeso	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05
Puertas y ventanas abiertas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

2.4.1 Materiales aislantes

Los materiales y estructuras para tratamiento acústico, se pueden describir como aquellos que tienen la propiedad de absorber o reflejar una parte importante de la energía de las ondas sonoras que chocan contra ellos. Pueden emplearse para aislar y acondicionar acústicamente de diferentes maneras como [5]:

- Estructuras para reducir transmisión sonora
- Elementos para barreras y cerramientos
- Unidades suspendidas individuales
- Recubrimiento de paredes, suelos y techos.

Los materiales empleados para aislar el ruido aéreo, que es el sonido no deseado transmitido por el aire, son ladrillos de diferentes tipos, como por ejemplo el de 2 pies o 1 pie, huecos, macizos, etc.

Los materiales acústicos absorbentes se clasifican en:

- Materiales porosos: Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia de esta a la pared. El espesor del material se elige de acuerdo con el valor del coeficiente de absorción empleado; ya que si es demasiado delgado, se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que si es muy grueso resulta muy caro.
- Materiales para argamasa: Son materiales acústicos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado. Estos materiales están compuestos de una mezcla de ingredientes secos, a los cuales se les añade un aglutinante líquido.
- Materiales para paneles perforados: Son aluminio o acero perforado, con un relleno de fibra mineral, siendo este relleno el elemento absorbente del sonido, de unos 3 cm de espesor.

El relleno se coloca en el panel durante la instalación y se mantiene separado del mismo con una rejilla, con el fin de facilitar las operaciones de limpieza conservando su absorción acústica. Su aplicación más general es como techos acústicos suspendidos, por su facilidad de montaje y de coordinación con los sistemas aire/luz [5].

2.5 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

El acondicionamiento acústico es el tratamiento interno del recinto (tratamiento de paredes) y su objetivo es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo.

Este concepto busca lograr la absorción del sonido causado por un determinado foco de ruido, con el fin de disminuir su intensidad dentro del mismo recinto. Es preciso considerar ciertas medidas en el diseño de recintos para evitar las molestas reverberaciones, situación que se hace imprescindible a la hora de buscar confort acústico.

Las reverberaciones que se producen en ciertos locales hacen que la acústica en ellos no sea buena, impidiendo a veces la correcta recepción del sonido.

Algunos detalles importantes en un acondicionamiento acústico son:

- Las propiedades acústicas de un recinto están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos.
- Tiempo de reverberación adecuado al uso y tamaño del recinto.

2.5.1 Materiales absorbentes

A la hora de acondicionar una sala se tienen tres tipos de materiales que nos ayudan a conseguir este acondicionamiento [5]:

- Materiales Absorbentes: Los empleamos a la hora de querer absorber sonido en una sala, ya sea con los materiales convencionales o los selectivos (resonadores), que actúan en frecuencias específicas.

Se dividen en 4 tipos:

- Absorbentes Porosos
- Resonadores
- Mixtos (combinación de los anteriores)
- Anecóicos

- **Materiales reflectantes:** Estos materiales siempre están formados por materiales lisos no porosos y totalmente rígidos capaces de reflejar la mayor parte de la energía que incide sobre ellos. Estos materiales pueden ser:
 1. Reflectores Planos
 2. Reflectores Curvos

- **Materiales difusores:** Son materiales diseñados para reflejar y dispersar el sonido de manera uniforme en sus múltiples direcciones. Existen tres tipos de difusores creados específicamente para márgenes de frecuencias determinadas:
 1. MLS (Maximum Length Sequence)
 2. QRD (Quadratic Residue Diffuser)
 3. PRD (Primitive Root Diffuser)

2.6 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS RECINTOS

La utilidad o perjuicio de las variaciones de la señal debido a las propiedades del recinto, que definen las condiciones acústicas del mismo, dependen no sólo de las propiedades físico-fisiológicas de la audición, sino también del carácter de los sonidos naturales (palabra, música) y de las propiedades de las fuentes secundarias y receptores sonoros (altavoces, micrófonos) empleados para la transmisión sonora [5].

Teniendo esto en cuenta, los recintos se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Recintos de audición directa (caso a estudiar).

- Recintos para transmisión sonora por medio de sistemas electro-acústicos.

- Recintos que utilizan sistemas de amplificación sonora.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 UBICACIÓN DEL LUGAR

El Cenlex Zacatenco se encuentra ubicado en la Av. Wilfrido Massieu S/N Unidad Profesional Adolfo López Mateos (Ver figura 3.1).

Colonia Lindavista, Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07738 México DF. TEL.: 5729 6000 Ext.:54710 y 54718.

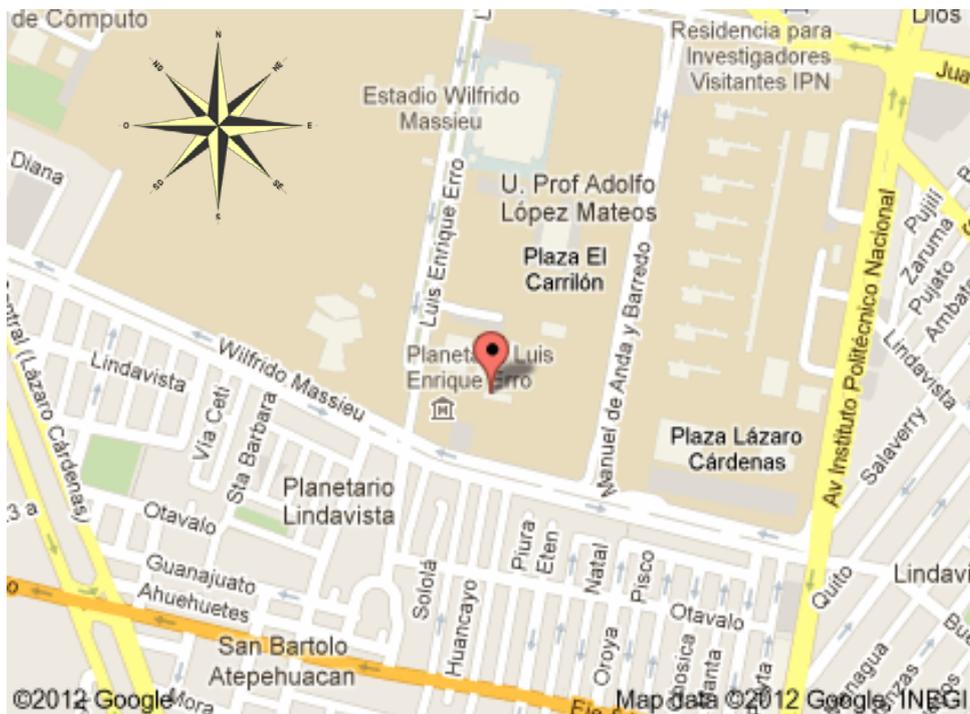


Figura 3.1 Ubicación del Centro de Lenguas Extranjeras

El edificio del Cenlex cuenta con 3 niveles (pisos) y la planta baja (Ver figura 3.2). Del primer al tercer piso se encuentran distribuidos los salones de clase, 3 laboratorios, la biblioteca, sala de profesores y un audiovisual. La planta baja cuenta con un auditorio, biblioteca, departamento de control escolar, dirección, unidad de informática y almacén.



Figura 3.2 Edificio del Cenlex Zacatenco

El diseño acústico del edificio está enfocado a los salones de clases, de los cuales se ha seleccionado un salón de un sólo tipo de material (block vitrificado) que cubre el promedio de los demás salones de clases como lo son las dimensiones y los materiales empleados en su interior.

3.2 DIMENSIONES Y DEFINICIÓN DE ÁREAS DEL SALÓN 204

En la figura 3.3 se muestran las dimensiones del salón 204.

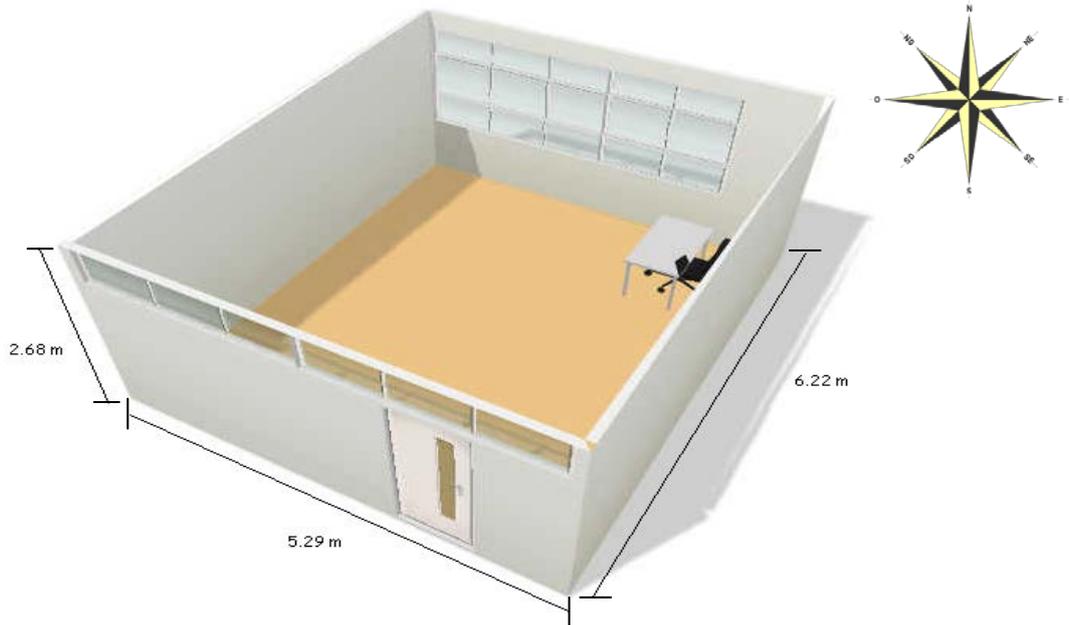


Figura 3.3 Dimensiones del salón 204

El volumen del salón es el siguiente:

$$6.22 \text{ m} \times 2.68 \text{ m} \times 5.29 \text{ m} = 88.18 \text{ m}^3$$

La capacidad del salón es de aproximadamente 30 alumnos (Ver figura 3.4).

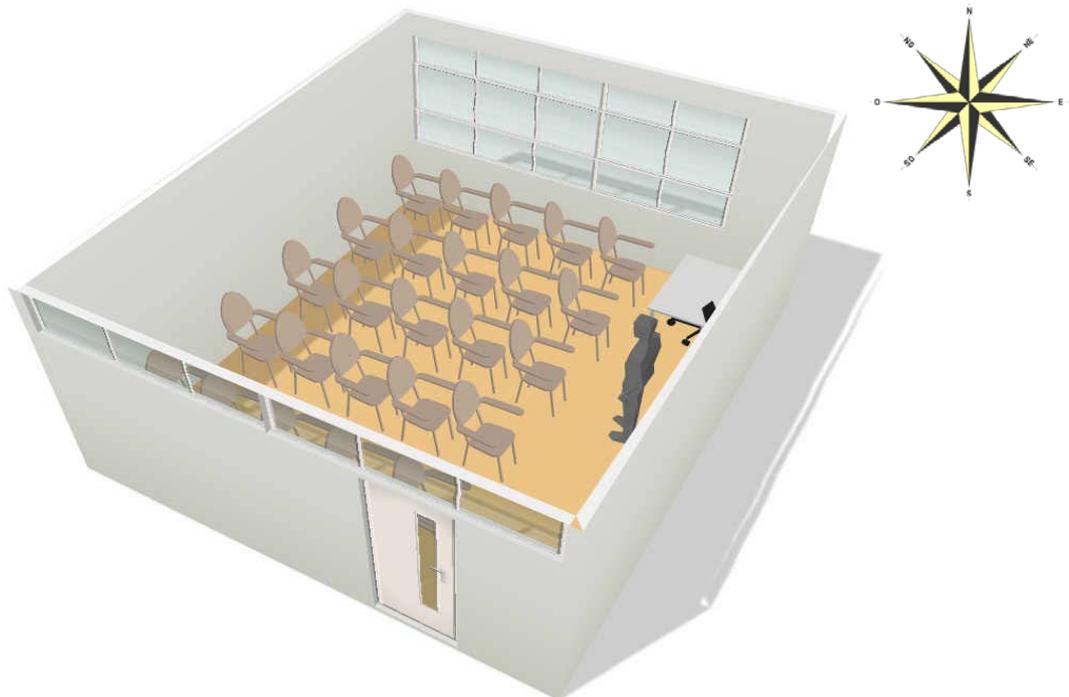


Figura 3.4 Capacidad del salón 204

ÁREAS ACTUALES DEL SALÓN 204

PARED A (Ver Figura 3.5)

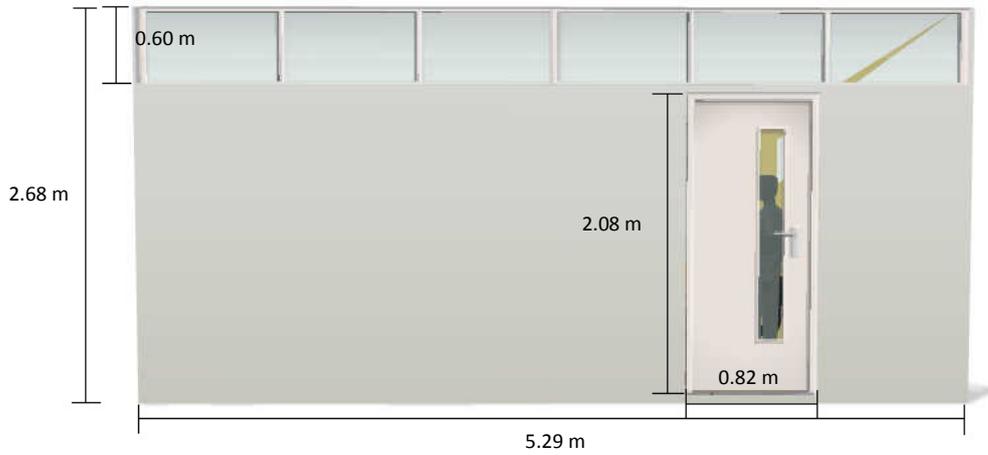


Figura 3.5 Pared A

Área de la pared = 9.29 m^2

Área de la ventana = 3.17 m^2

Área de la puerta = 1.70 m^2

PARED B y C (Ver Figura 3.6)

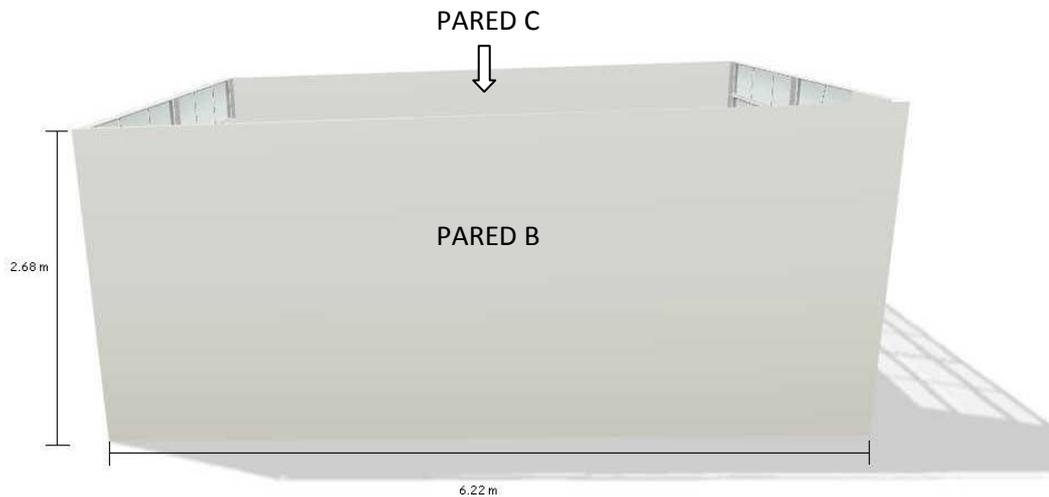


Figura 3.6 Pared B y C

Área de la pared B = 16.66 m^2

Área de la pared C = 16.66 m^2

PARED D (Ver Figura 3.7)

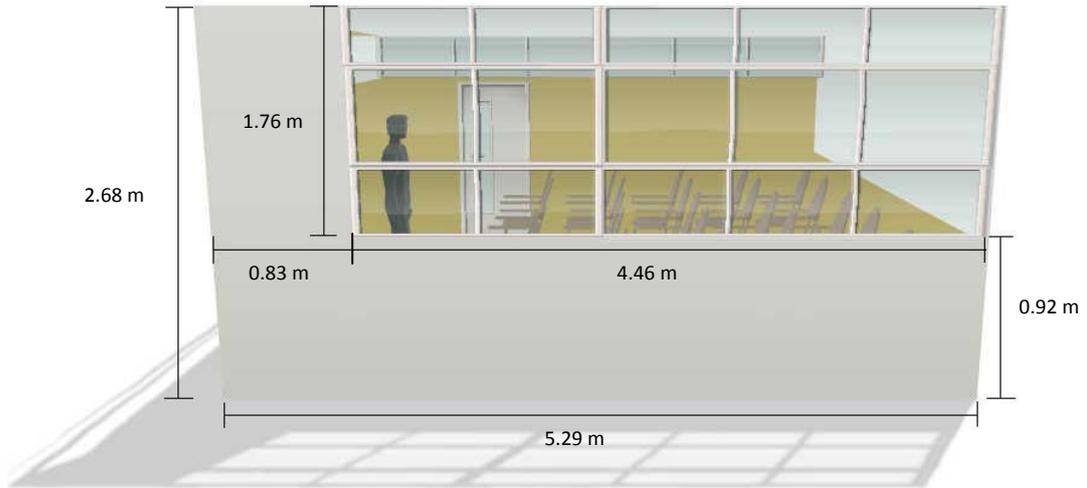


Figura 3.7 Pared D

Área de la pared D = 6.32 m²

Área de la ventana D = 7.84 m²

Área del techo con lámparas= 32.90 m²

Área del piso = 32.90 m²

3.3 MEDICIONES

La localización y la medición del ruido son dos de los elementos fundamentales para la definición de las condiciones acústicas iniciales de un recinto. La identificación de las fuentes emisoras es un parámetro primordial para un buen diseño acústico.

3.3.1 Zonas críticas

Se determinaron las zonas de mayor ruido con el sonómetro encendido, anotando los valores máximos del lugar donde se detectaron niveles altos conocidas como “Zonas Críticas” (Ver tabla 3.1).

Tabla 3.1 Ubicación de las zonas críticas (ZC)

ZONA CRITICA (ZC)	LUGAR	NPS
ZC1	Pasillo del segundo piso	73 dB
ZC2	Salones adjuntos	71 dB

Se encontraron 2 zonas críticas en las cuales se detectaron niveles de ruido mayores a los 72 dB (Ver Figura 3.8).



Figura 3.8 Ubicación de las zonas críticas

3.3.2 Procedimiento de medición

Las mediciones se realizaron con base a la norma oficial mexicana NOM-081-ECOL-1994 [Ver Anexo 1], que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

3.3.3 Pérdida por transmisión

La pérdida por transmisión es una propiedad del material, con relación a la incidencia de la onda sonora. Depende de la frecuencia.

Primeramente se ubicaron los puntos para la medición dentro del salón 204 quedando de la siguiente manera (Ver figura 3.9).

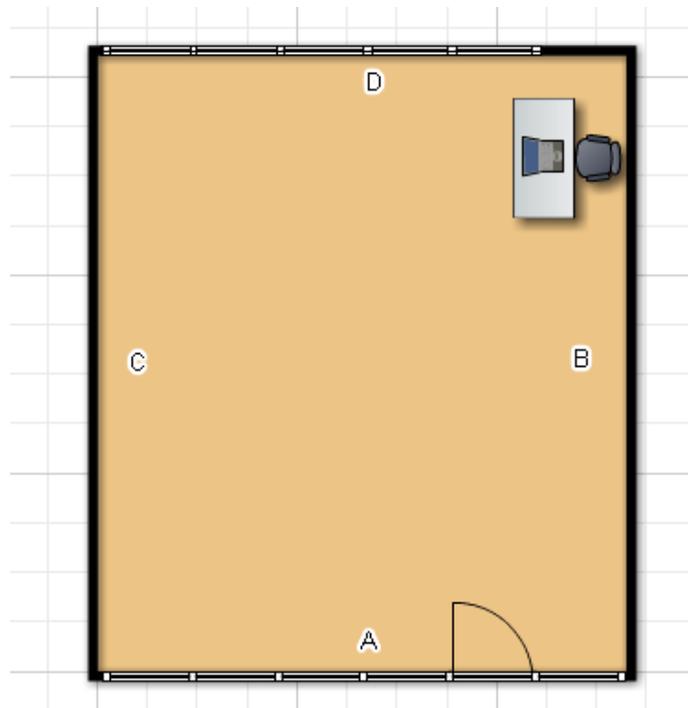


Figura 3.9 Puntos de medición del salón 204

PUNTO A

- MURO POSTERIOR

PUNTO B

- MURO LATERAL DERECHO

PUNTO C

- MURO LATERAL IZQUIERDO

PUNTO D

- MURO ANTERIOR

No se realizó medición alguna ya que el salón se encuentra en el segundo piso y este muro da hacia el exterior. En el exterior sólo se tienen áreas verdes y no hay problemas de ruido.

Para cada punto se registró la lectura de NPS con el sonómetro NORSONIC Nor132 [Ver Anexo 2] dentro del salón 204 tomando como fuente fija ruido rosa a 92 dB, ya que contiene la misma cantidad de energía en cada banda de octava. Colocando el sonómetro a 0.30 m de distancia del límite de la fuente y a no menos de 1.2 m del nivel del piso (Ver figura 3.10).



Figura 3.10 Fuente fija

En la tabla 3.2 se tienen los resultados de pérdida por transmisión del punto A correspondientes al muro posterior del salón 204.

Tabla 3.2 PUNTO A (MURO POSTERIOR)

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPS dB (A)	76	74.18	66.60	64.24	65.56	58.60	37.75
Pérdida por Transmisión (dB)	16	17.82	25.4	27.76	26.44	33.4	54.25

Para este punto, la fuente fija se colocó en el pasillo del segundo piso (Ver figura 3.11).

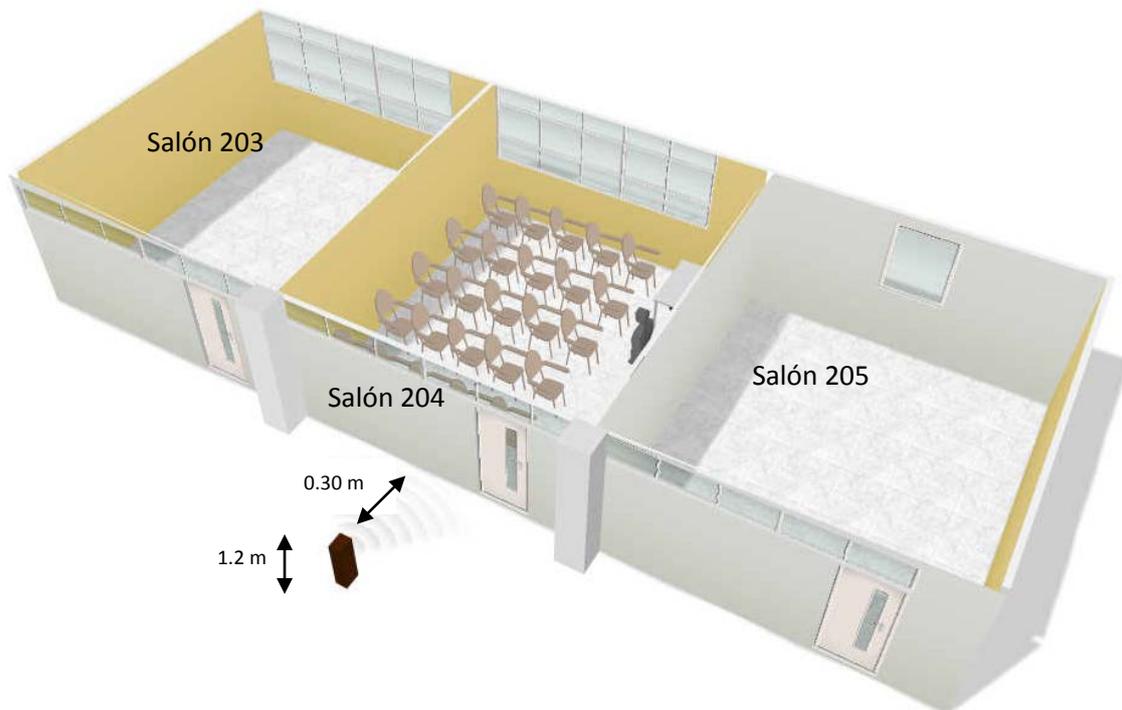


Figura 3.11 Fuente fija en el pasillo del segundo piso (Punto A)

La figura 3.12 muestra la gráfica en dB de la fuente fija (Ruido Rosa) con el NPS obtenido del punto A.

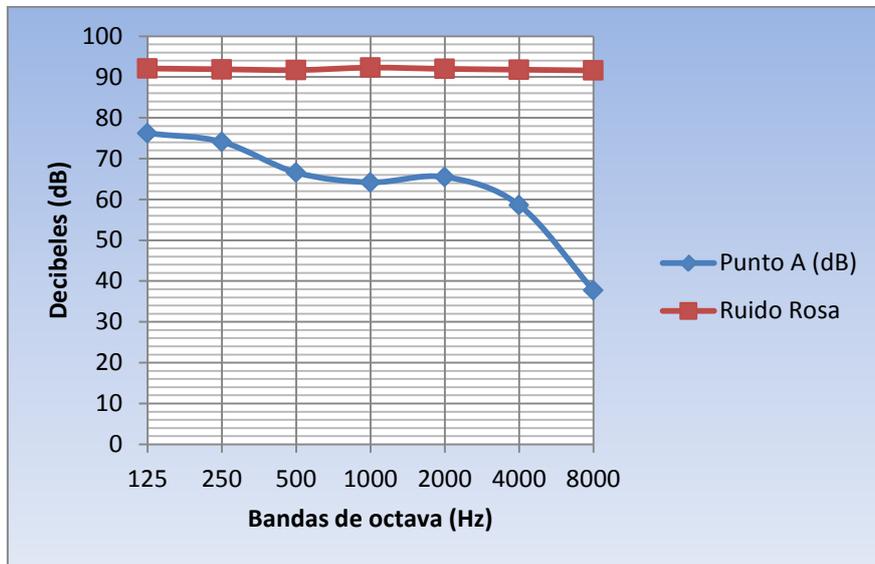


Figura 3.12 Pérdida por transmisión del punto A

Hay un aumento en el NPS del muro posterior (Punto A) debido a la ranura de la ventana (Ver figura 3.13) y esto es debido a que el vidrio no cubre totalmente el área del marco. Aquí es donde se presenta el mayor problema de ruido.



Figura 3.13 Ventana del muro posterior (Punto A)

La tabla 3.3 corresponde a la medición de pérdida de transmisión del muro lateral derecho (Punto B) del salón 204.

Tabla 3.3 PUNTO B (MURO LATERAL DERECHO)

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPS dB (A)	67.10	65.31	64.11	56.28	56.09	45.92	31.5
Pérdida por Transmisión (dB)	24.9	26.69	27.89	35.72	35.91	46.08	60.5

La fuente fija se colocó en el salón 205 (Ver figura 3.14).

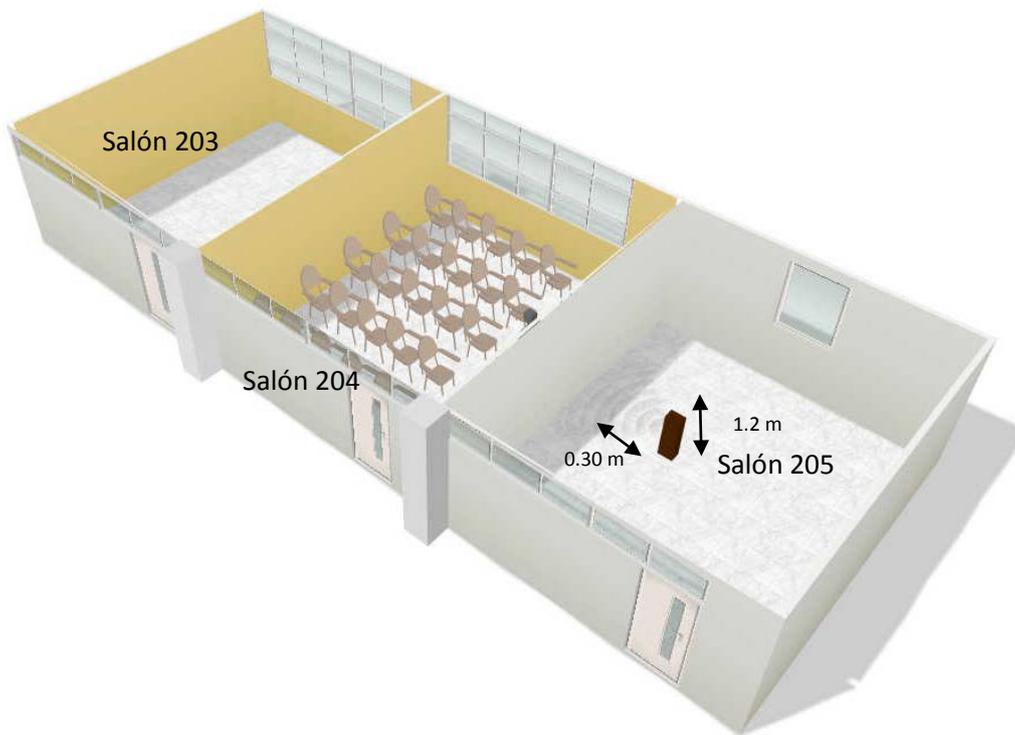


Figura 3.14 Fuente fija colocada en el salón 205 (Punto B)

La figura 3.15 muestra la gráfica en dB de la fuente fija (Ruido Rosa) con el NPS del muro lateral derecho correspondiente al punto B del salón 205.

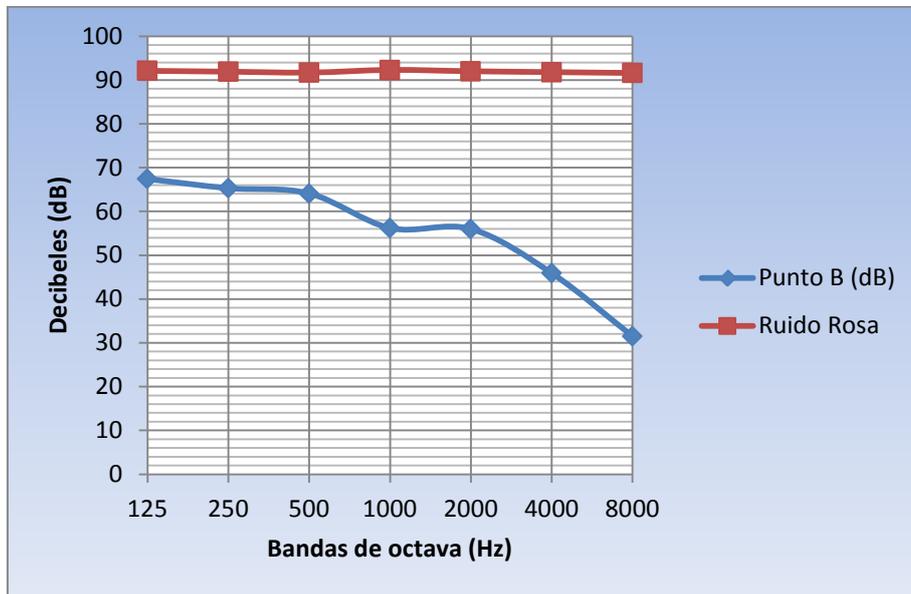


Figura 3.15 Pérdida por transmisión del punto B

Por último, la tabla 3.4 indica los datos obtenidos debido a la pérdida por transmisión del punto C correspondiente al muro lateral izquierdo del salón 204.

Tabla 3.4 PUNTO C (MURO LATERAL IZQUIERDO)

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPS dB (A)	68	66.13	63.61	55.75	55.85	43.39	31
Pérdida por Transmisión (dB)	24	25.87	28.39	36.25	36.15	48.61	61

La fuente fija se colocó en el salón 203 (Ver figura 3.16).



Figura 3.16 Fuente fija colocada en el salón 203 (Punto C)

La figura 3.17 muestra la gráfica en dB de la fuente fija (Ruido Rosa) con el NPS obtenido del muro lateral izquierdo correspondiente al punto C.

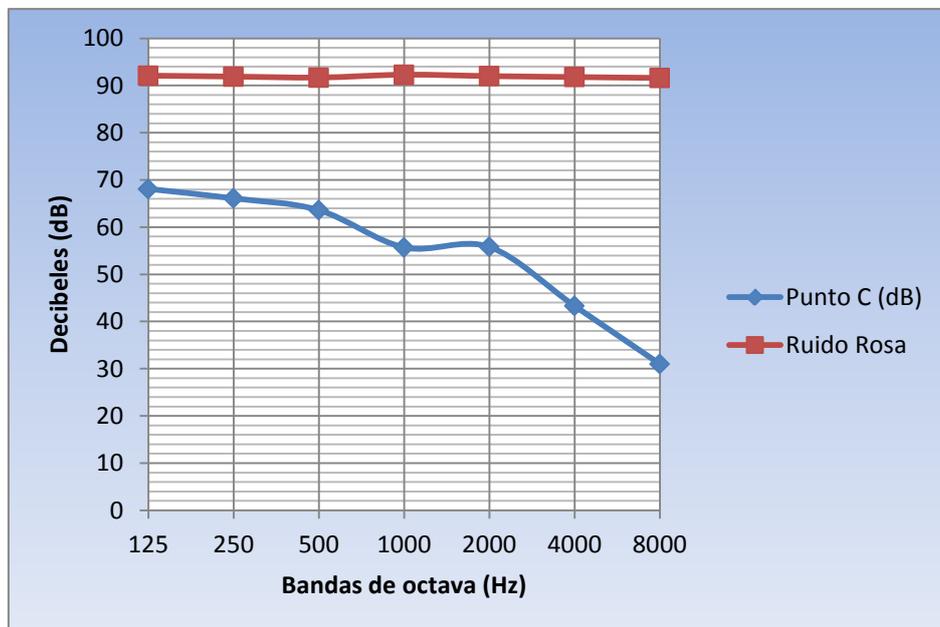


Figura 3.17 Pérdida por transmisión del punto C

El punto D no tiene problemas de ruido que afecten al alumno ya que la ventana cubre totalmente el salón y en el exterior sólo se tiene áreas verdes (Ver figura 3.18).



Figura 3.18 Ventana del punto D

3.3.4 Ruido de fondo

Se considera ruido de fondo a todo aquel ruido que se percibe en una sala cuando en la misma no se realiza ninguna actividad. Dicho ruido puede ser debido al sistema de climatización, instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, e incluso puede provenir del exterior del recinto (por ejemplo, el ruido de tráfico).

Para el salón 204 del Cenlex se realizó la medición con un total de 36 muestras en un lapso de 3 minutos por bandas de octava en un día sin actividades. (Ver tabla 3.5).

Tabla 3.5 Obtención de valores para ruido de fondo del salón 204

	A	B	C	D
1	Hz	NC Medido	NC 30	NC 20
2	125	40	48	40
3	250	36	41	33
4	500	37	35	26
5	1000	29	31	22
6	2000	21	29	19
7	4000	18	28	17
8	8000	18	27	16

En la figura 3.19 se puede ver que el NC obtenido del salón 204 no se ajusta en su totalidad a la curva NC 20, menos a la curva NC 30 [Ver Anexo 3]. El problema está en la frecuencia de 500 Hz y 1000 Hz. Se escogió la curva NC 20 porque es la que más se acerca a las características de la curva obtenida del salón 204. Posteriormente con la propuesta de materiales se pretende ajustar la frecuencia de 500 Hz y 1000 Hz para obtener el NC deseado.

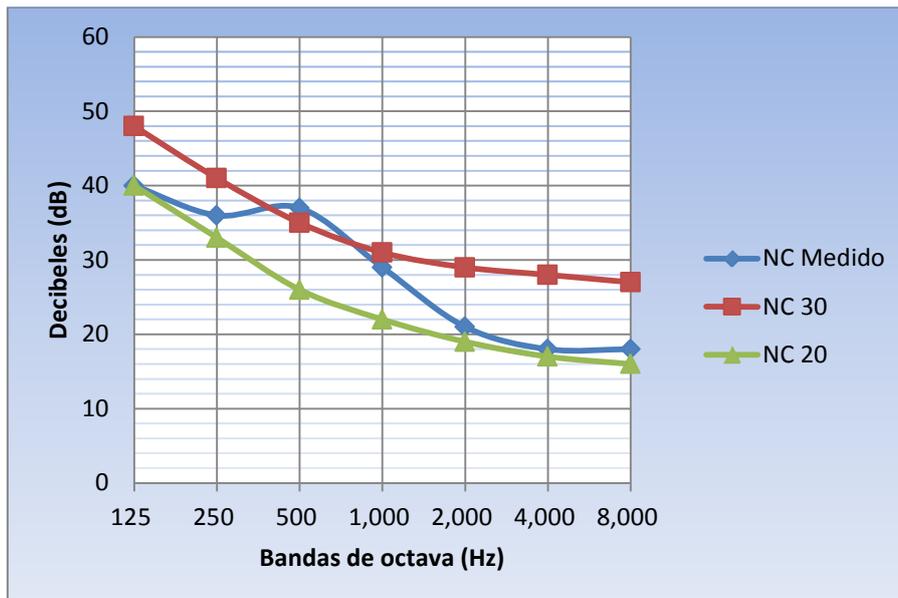


Figura 3.19 Comparación de curvas NC del salón 204

3.3.5 Prueba de Inteligibilidad

Se realizó la prueba de inteligibilidad, para determinar que tan buena es la comunicación, se utilizó una lista de 100 logatomos publicadas por Fuchs (Tabla 3.6) con el método %ALcons (Porcentaje de Pérdida de Articulación de las Consonantes) [12].

El método está basado en el estudio de la pérdida real de consonantes por parte de un grupo de personas en varios dictados de monosílabos, realizados en el salón, y relacionando esta pérdida con las características del aula [12].

Tabla 3.6 Logatomos “Lista de Fuchs”

1. mar	21. os	41. in	61. ar	81. cie
2. sin	22. bar	42. va	62. ben	82. dun
3. to	23. me	43. cia	63. su	83. sal
4. mu	24. glu	44. ta	64. ño	84. rri
5. che	25. co	45. tor	65. te	85. los
6. es	26. un	46. doi	66. le	86. con
7. que	27. je	47. yo	67. dri	87. la
8. no	28. les	48. an	68. co	88. rre
9. per	29. da	49. dre	69. mie	89. ce
10. te	30. rre	50. li	70. pal	90. dos
11. rra	31. si	51. can	71. bi	91. cha
12. fa	32. can	52. di	72. pro	92. gra
13. pos	33. ña	53. ya	73. na	93. pe
14. ci	34. se	54. lo	74. ge	94. tu
15. cra	35. do	55. mi	75. sa	95. es
16. du	36. al	56. fui	76. dan	96. an
17. pan	37. so	57. to	77. qui	97. pre
18. de	38. ble	58. en	78. an	98. rra
19. ni	39. pe	59. mas	79. so	99. bue
20. mel	40. ga	60. que	80. ja	100. me

Se escogió el salón 204 con un total de 20 alumnos en perfectas condiciones de salud, cada uno de ellos anotó en una hoja el dictado de la lista de logatomos que se le entregó al profesor (orador). Posteriormente se recogió la hoja y se realizó un registro de los datos obtenidos.

En la figura 3.20 se muestra el porcentaje de error (pérdida) correspondiente a cada alumno.



Figura 3.20 Prueba de inteligibilidad

Se considera que cuando el valor de una estancia es mayor del 10% la inteligibilidad es mala. En entornos de aprendizaje y sistemas de alerta de voz, el valor deseado es de 5% o menos. Un 15% suele ser la pérdida máxima aceptable.

Después de la prueba se concluye que el aula presenta problemas de inteligibilidad ya que 4 alumnos obtuvieron un porcentaje de error mayor al 10%. Estos problemas dependen de las características del aula y de las condiciones de salud **[Ver Anexo 4]**.

3.3.6 Tiempo de Reverberación

Tiempo de reverberación recomendado [Ver Anexo 5].

$$TR_{60} = 0.5 \text{ segundos} - 1.0 \text{ segundos}$$

Tabla 3.7 Tiempo de reverberación actual y propuesto del salón 204

T_R	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
T_R Actual	3.71 s	4.32 s	3.62 s	3.40 s	3.34 s	3.34 s
T_R Propuesto	0.91 s	0.30 s	0.49 s	0.51 s	0.48 s	0.45 s

Los valores obtenidos reflejan que con la propuesta de materiales, el tiempo de reverberación disminuye [Ver Anexo 6].

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL DISEÑO Y COSTOS

4.1 DISEÑO

A continuación se muestran los pasos a seguir para el diseño acústico del salón TIPO A (204) con los diferentes materiales propuestos [Ver Anexo 7].

1.- En la figura 4.1 se muestra la vista actual del salón 204 desde el pasillo, con la pared de block vitrificado.



Figura 4.1 Vista actual del salón 204

2.- Primeramente se cambian las ventanas actuales de aluminio por ventanas de PVC con vidrio doble de 6mm quedando de la siguiente manera (Ver figura 4.2).

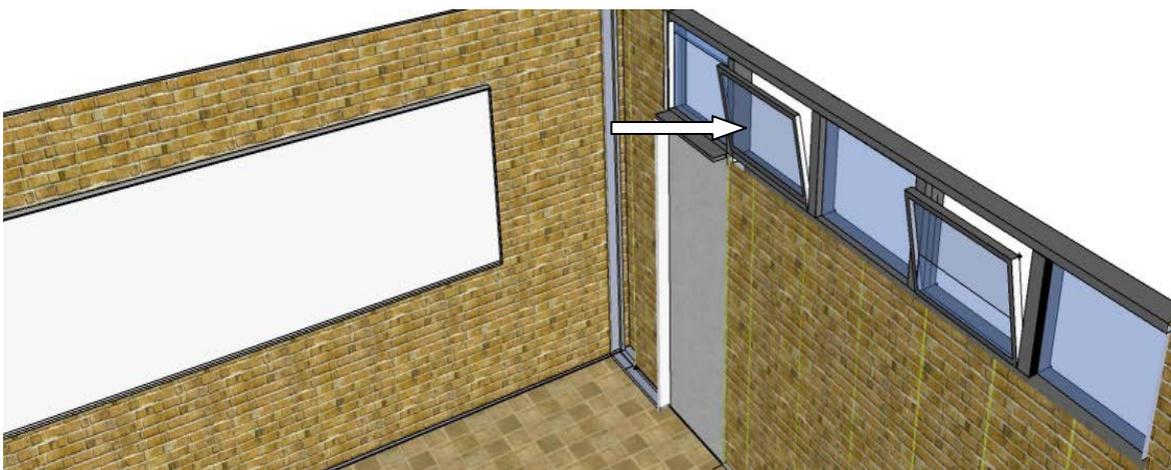


Figura 4.2 Ventanas de PVC con vidrio doble

3.- La puerta de madera se cambia por una puerta de PVC quedando como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3 Ventanas de PVC con vidrio doble

4.- El siguiente paso es colocar las canaletas, de acuerdo al tamaño de la lana mineral, en el muro del pasillo del salón 204 (PUNTO A) y en el muro adjunto al salón 203 (PUNTO C). Ver figura 4.4.

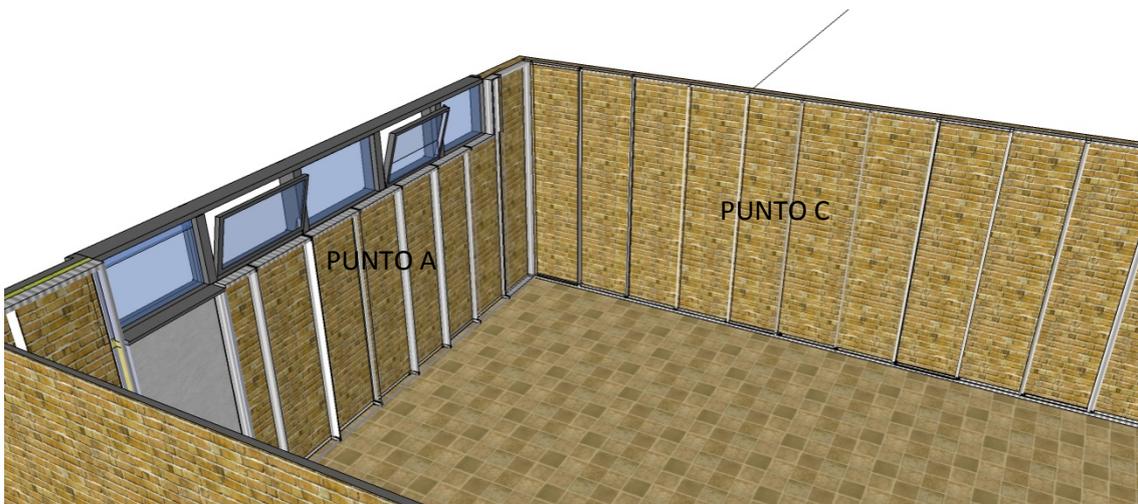


Figura 4.4 Colocación de canaletas en el Punto A y Punto C

5.- A continuación colocamos la lana mineral en los muros antes mencionados (Ver figura 4.5).

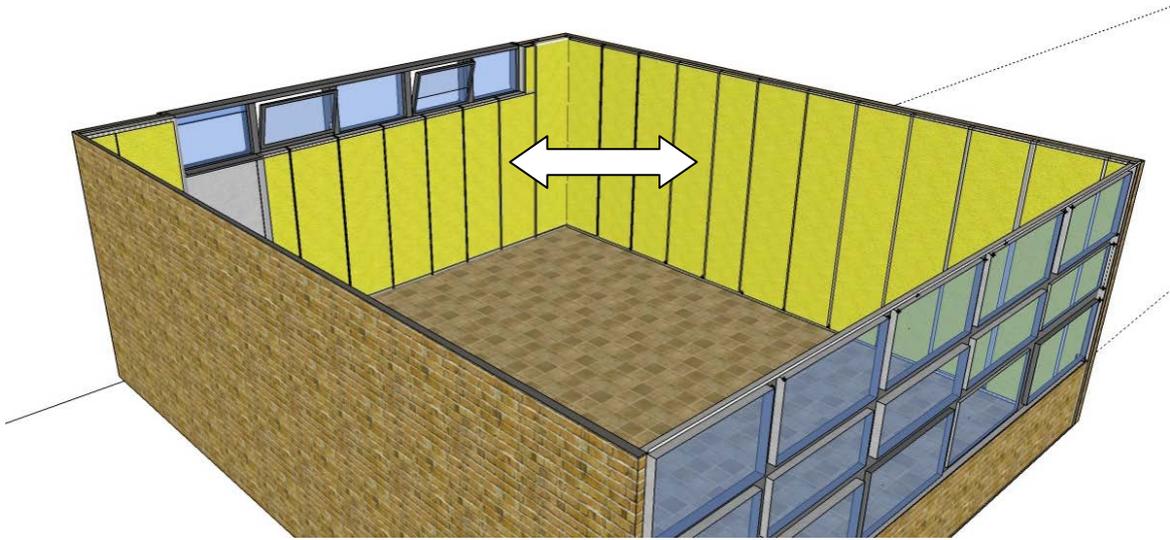


Figura 4.5 Colocación de lana mineral

6.- Después de la colocación de la lana mineral sigue la colocación del panel de yeso (tablaroca). Así como se muestra en la figura 4.6.

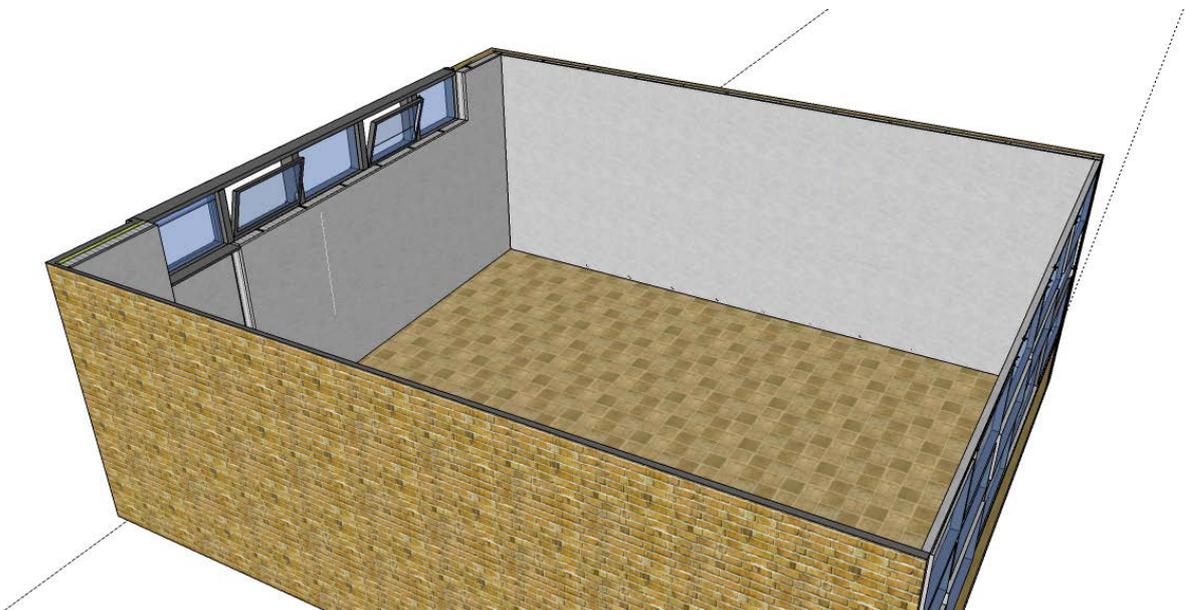


Figura 4.6 Colocación del panel de yeso (Tablaroca)

7.- Por ultimo colocamos 2 paneles de absorción en cada muro acondicionado (Ver figura 4.7).

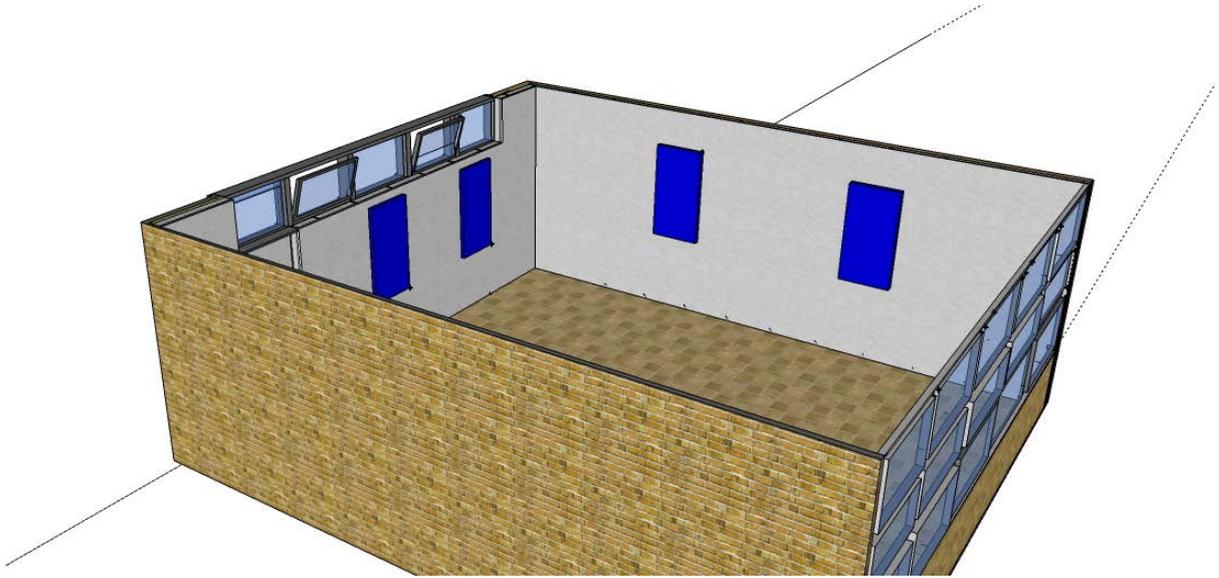


Figura 4.7 Colocación de los paneles de absorción

Las características de los materiales **[Ver Anexo 8]** fueron propuestos principalmente en cuanto a su coeficiente de absorción para disminuir el tiempo de reverberación (T_R).

4.2 COSTOS

La tabla 4.1 muestra los costos de los materiales empleados para el diseño del salón 204.

Tabla 4.1 Costos de materiales propuestos

MATERIAL	CANTIDAD REQUERIDA	MEDIDA	PRECIO	CANTIDAD SOLICITADA	TOTAL
Puerta de pvc	1.70 m ²	2.08 x 0.82 m	\$ 3024.00	1 puerta	\$ 3024.00
Ventana de pvc con vidrio doble de 6mm	0.528 m ²	0.60 x 0.88 m x unidad	\$ 1848.00	6 ventanas	\$ 11088.00
Lana mineral	25.95 m ²	1.20 x 0.60 m	\$ 200.00	37 placas	\$ 7400.00
Instalación de 1m ² tablaroca	25.95 m ²	-----	\$ 733.83	26 m ²	\$ 19079.58
Panel absorbente	-----	1.20 x 0.72 m	\$ 252.00	4 unidades	\$ 1008.00

TOTAL	\$ 41599.58
--------------	--------------------

Los costos mostrados se refieren únicamente a los materiales, el presupuesto para los gastos de instalación y mano de obra es realizado por los distribuidores tomando en cuenta las características del lugar y los requerimientos que se soliciten.

CONCLUSIONES

Actualmente los salones de clase presentan problemas de ruido. El ruido en clase dificulta el aprendizaje de los alumnos. Considerando todos los beneficios que brinda el tener los salones de clases adecuadamente acondicionados, tales como aprendizaje y buena comunicación alumno-maestro. Se presenta el diseño acústico de los salones tipo A del CENLEX Zacatenco.

Este trabajo fue realizado con los niveles de ruido actuales a los que se encuentran expuestos la mayor parte de los salones de clases. El mayor problema de ruido se encontró en los salones adjuntos, así como las ventilas del pasillo que no cubre totalmente el área de la ventana.

El tiempo de reverberación adecuado es imprescindible para el diseño de recintos con un objetivo en específico, en este caso, un salón de clases. Con los materiales actuales se tiene un tiempo de reverberación (T_R) muy alto. Al proponer los materiales se tomó en cuenta principalmente el coeficiente de absorción. Realizando los cálculos correspondientes el tiempo de reverberación disminuyó considerablemente obteniendo el tiempo deseado para uso específico de un salón de clases, y poder cumplir las funciones que el mismo requiere que son el aprendizaje mediante una excelente comunicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Antoni Carrión Isbert. "Diseño Acústico de espacios arquitectónicos". México: Alfa Omega
- [2] Juan Carlos Asinsten. "EL SONIDO, TEORIA Y PRÁCTICA". México.
- [3] Iñigo López Cebrián."ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA S.A". México.
- [4] Leo L. Beranek (1969). "Acústica". Buenos Aires, Argentina.
- [5] Recuero López. "Acústica Arquitectónica Aplicada". México: Paraninfo
- [6] Lawrence E. Kinslaer, Austin R. Frey, Alan B. Coppins, James V. Sanders (1988). "Fundamentos de acústica". México: Limusa.
- [7] Acústica, www.ehu.es/acustica
- [8] Federico Miyara. "Acústica y Sistemas de Sonido". México.
- [9] Aislamiento Acústico,
http://www.dbmetric.com/acustica_arquitectonica_notas.html
- [10] Plafones y materiales de construcción Armstrong,
<http://www.armstrong.com>
- [11] Ventanas de pvc Abatik, <http://www.abatikventanas.com/>
- [12] Evaluación de la inteligibilidad del habla en español,
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S007117132007000100014&script=sci_arttext
- [13] Ventanas y puertas Macoga,
<http://www.macoga.es/index.php/productos/porcino/110/gestación/1/ventanas-y-puertas/8/puerta-pvc-aluminio-con-marco/142>
- [14] Todo en Acústica,
[http://www.interaudiodigital.com/index.php?data=catalogo\\$\\$tag\\$=construccion](http://www.interaudiodigital.com/index.php?data=catalogo$$tag$=construccion)
- [15] Sistema Térmico Tablaroca,
<http://www.usg.com.mx/recursos/Sistema%20TT.pdf>

ANEXO 1

NORMA NOM-081-ECOL-1994, Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina su nivel emitido hacia el ambiente.

CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana se aplica en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública.

REFERENCIAS

NMX-AA-40 Clasificación de ruidos.

NMX-AA-43 Determinación del nivel sonoro emitido por fuentes fijas.

NMX-AA-59 Sonómetros de precisión.

NMX-AA-62 Determinación de los niveles de ruido ambiental.

ESPECIFICACIONES

_La emisión de ruido que generan las fuentes fijas es medida obteniendo su nivel sonoro en ponderación "A", expresado en dB (A).

El equipo para medición del nivel sonoro es el siguiente:

_Un sonómetro de precisión.

_Un calibrador piezoeléctrico o pistófono específico al sonómetro empleado.

Puede ser utilizado equipo opcional para la medición del nivel sonoro que es el siguiente:

_Un cable de extensión del micrófono, con longitud mínima de 1 m.

_Un tripié para colocar el micrófono o equipo receptor.

_Para obtener el nivel sonoro de una fuente fija se debe aplicar el procedimiento de actividades siguiente: Un reconocimiento inicial; una medición de campo; un procesamiento de datos de medición y; la elaboración de un informe de medición.

_El reconocimiento inicial debe realizarse en forma previa a la aplicación de la medición del nivel sonoro emitido por una fuente fija, con el propósito de recabar la información técnica y administrativa y para localizar las Zonas Críticas.

La información a recabar es la siguiente:

_Croquis que muestre la ubicación del predio donde se encuentre la fuente fija y la descripción de los predios con quien colinde

_Descripción de las actividades potencialmente ruidosas.

_Relacionar y representar en un croquis interno de la fuente fija el equipo, la maquinaria y/o los procesos potencialmente emisores de ruido.

_Con el sonómetro funcionando, realizar un recorrido por la parte externa de las colindancias de la fuente fija con el objeto de localizar la Zona Crítica o zonas críticas de medición.

_Dentro de cada Zona Crítica (ZC) se ubicarán 5 puntos distribuidos vertical y/u horizontalmente en forma aleatoria a 0.30 m de distancia del límite de la fuente y a no menos de 1.2 m del nivel del piso.

_Se debe realizar la medición de campo de forma continua o semicontinua, teniendo en cuenta las condiciones normales de operación de la fuente fija.

Mediciones continuas.

_Durante el lapso de emisión máxima se elige un período no inferior a 15 minutos para la medición.

Mediciones semicontinuas.

_Debe colocarse el sonómetro o el micrófono del sonómetro en cada punto de medición apuntando hacia la fuente y efectuar en cada punto no menos de 35 lecturas, procurando obtener cada 5 segundos el valor máximo observado.

Antes y después de las mediciones en cada Zona Crítica debe registrarse la señal de calibración.

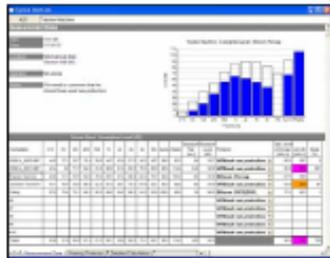
ANEXO 2

SONOMETRO NORSONIC Nor132



Application Note

Measuring Noise at Work
Using the Sound Level Meter Nor131/Nor132
and the NorProtector Software Nor1025



Employers have a legal duty to protect the hearing of their employees. You may have a noise problem in your workplace if people have to shout or having difficulty being heard clearly by someone about 2 metres away. In addition to causing noise-induced hearing loss, noise can create stress and be a safety hazard at work, interfering with communication.

Previously accepted action levels by noise in the workplace have been reduced by the new EU-Directive 2002/44/EF. These noise exposure levels require employers to take certain steps to reduce the harmful effects of noise on hearing.

The first step is to carry out noise assessments on a regular basis. Norsonic AS provides the ideal package for this application.

- Features**
- Easy to use SLM with single 120 dB measurement range
 - Measures parallel LAeq and LCpeak
 - Large memory for multiple work positions
 - Drag&Drop all measurement into PC via USB interface
 - NorProtector software calculates noise exposure on individual persons based on multiple work positions and print out the report for each individual
 - 1/1-octave real-time filters for selection of optimal hearing protector at the individual work positions

AN NoiseAtWork Ed.1 Rev.0 English 11.05





Sound Level Meters Nor131 and Nor132

The Nor131 (Class 1) and the Nor132 (Class 2) SLMs are ideal for noise deafness risk assessments under the EU Physical Agents (Noise) Directive 2002/44/EF. It measures all required functions, and presents the results both during and after the measurement period.

The $L_{Aeq,T}$ and L_{Cpeak} values are provided to allow the $L_{EP,d}$ and peak action levels to be determined from quick and simple measurements at each workstation. Where exceedances are detected the difference value $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ is available to allow the HML method of hearing protector to be specified.

For a more detailed analysis, the instruments may be upgraded



with 1/1-octave real-time frequency analysis (Option 1). The resulting frequency spectrum is available at the same time as the initial measurement and gives the

information necessary to both specify noise control measures and for the correct prescription of personal hearing protection.

NorProtector Software Nor1025

User defined inputs of personal data for each individual report

1/1-octave spectra of noise exposure with and without hearing protector

Calculated personal exposure level and noise dose at each work position

User selected hearing protector for each work position

Exposure time at each work position must be set by the user

Calculated exposure level at each work position

Note data from all measured work positions are easily drag/dropped into the sheet

The total values for each frequency band for the overall network, as well as the total exposure and dose are found in this row.

The Nor1025 NorProtector software calculates all the required results for the noise deafness risk assessments. With a quick drag & drop operation all measurements

from most Norsonic SLM are imported. The user only need to specify the duration of work at each position, and the values exceeding the action level turns out

in colour. Individual data for each person may be entered. The software includes a database for selection of the most effective personal hearing protector.

Norsonic
 P.O.Box 24, N-3421 Lieningen, Norway
 Tel.: +47 3285 8900 Fax: +47 3285 2208
 info@norsonic.com www.norsonic.com

Distributor:

ANEXO 3

Tabla 1 Valores recomendados del índice NC para diferentes locales

Tipo de recinto	Curva NC recomendada
Salas de conciertos y teatros	15-25
Hoteles (habitaciones)	20-30
Salas de Clases	20-30
Oficinas	30-35
Restaurantes	35-40
Cafeterías	40-45
Talleres (máquina ligera)	45-55
Talleres (máquina pesada)	50-65

ANEXO 4

Inteligibilidad de la palabra.

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.

A principios de la década de los años 70, el investigador holandés V.M.A. Peutz llevó a cabo un exhaustivo trabajo a partir del cual estableció una fórmula para el cálculo de la inteligibilidad.

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 "logatomos" (palabras sin significado formadas por: consonante-vocal-consonante). Cada individuo receptor tomaba nota de lo que escuchaba y, posteriormente, se procesaba toda la información recogida y se establecía una estadística de los resultados obtenidos.

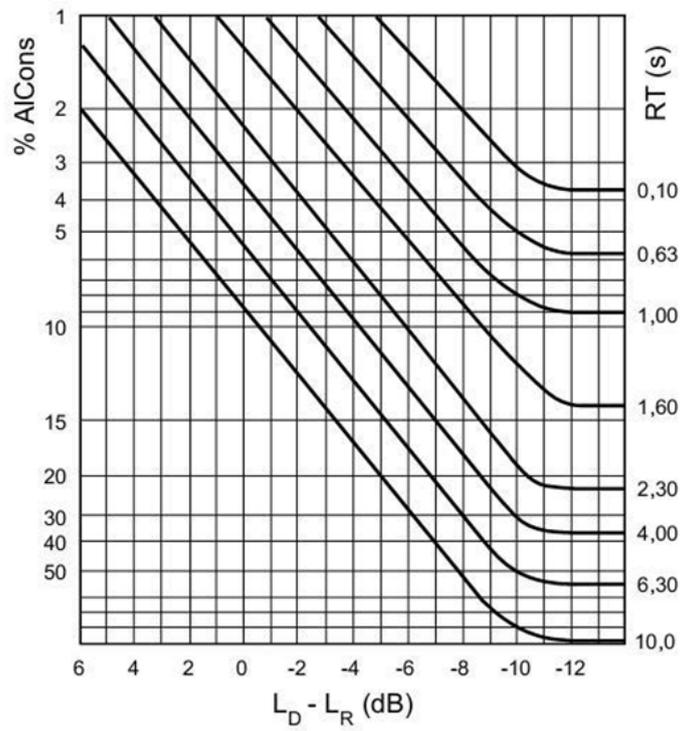
Si, por ejemplo, el porcentaje medio de logatomos detectados correctamente en uno de los recintos era de un 85%, entonces se consideraba que la pérdida de información era de un 15%. Como dicha pérdida se asociaba a una percepción incorrecta de las consonantes, Peutz la denominó: % de Pérdida de Articulación de Consonantes, o lo que es lo mismo, %ALCons (Articulation Loss of Consonants).

En el ejemplo anterior, se tendría un %ALCons de un 15%. Al tratarse de un parámetro indicativo de una pérdida, cuanto mayor sea, peor es el grado de inteligibilidad existente.

La segunda parte del trabajo consistió en encontrar una ley matemática que, a partir del conocimiento de una serie de parámetros acústicos del recinto en estudio, permitiese hallar el valor de %ALCons en cada punto del mismo, sin necesidad de tener que realizar las laboriosas pruebas de audiencia. Lógicamente, una vez establecida dicha ley, sería posible predecir la inteligibilidad de la palabra en cualquier punto de un recinto todavía por construir.

Haciendo uso de la teoría acústica estadística, Peutz dedujo que el valor de %ALCons en un punto dado se podía determinar, simplemente, a partir del conocimiento del tiempo de reverberación RT y de la diferencia entre los niveles de presión sonora de campo directo L_D y de campo reverberante L_R en dicho punto.

La ley en cuestión, expresada de forma gráfica, se presenta en la figura siguiente.



Obtención del %ALCons a partir de RT y de $L_D - L_R$

ANEXO 5

NORMA ANSI S12.60-2002, American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools.

Esta Norma establece los criterios de rendimiento acústico, requisitos de diseño, y directrices de diseño para las nuevas aulas escolares y otros espacios de aprendizaje.

La norma puede aplicarse cuando sea factible para la renovación de las actuales aulas.

Estos criterios, requisitos y directrices son introducidos a la acústica de cualidades necesarias para lograr un alto grado de inteligibilidad de la palabra en espacios de aprendizaje.

Ámbito

Esta norma establece los criterios de rendimiento acústico y requisitos de diseño para las aulas y otros espacios de aprendizaje.

- Los criterios acústicos de funcionamiento se especifican en esta norma de límites sobre la duración máxima de una hora con ponderación C, los niveles de ruido de fondo y los límites máximos en los tiempos de reverberación. Uno de los objetivos de estos criterios de actuación es lograr un nivel de discurso que es lo suficientemente alto en relación con el nivel de ruido de fondo para los oyentes en todo el salón o espacio de aprendizaje.
- El control de los niveles de ruido de fondo en esta norma se logra, en parte, especificando el mínimo de aislamiento de ruido de elementos de consolidación de la escuela. Aislamiento de ruido son los requisitos aplicables a los siguientes dos tipos de ruido intrusivo.
 - El ruido que invada el aula o espacio de aprendizaje a partir de fuentes exteriores del edificio escolar sobre. Estas fuentes de ruido son el tráfico de vehículos, aeronaves, industrial plantas, y la actividad con motivos de mantenimiento.
 - El ruido que se origina dentro del edificio escolar e invada el aula a través de aula de paredes y tabiques, piso-techo asambleas y los sistemas de ventilación. Interior fuentes de ruido puede aislarse a través de los métodos apropiados de diseño y construcción del edificio escolar por el ruido y las medidas de control aplicadas a la construcción y los servicios de agua, electricidad, etc.
- Esta norma no se aplica al ruido generado dentro de un aula. El ruido generado dentro de un aula son las voces y los sonidos de las actividades de la clase, como el movimiento de sillas.

Propósito

La presente norma tiene por objetivo ayudar a los planificadores de la escuela y los diseñadores de proporcionar la acústica cualidades necesarias para un buen discurso comunicación entre alumnos y profesores en las aulas y otros espacios de aprendizaje sin la utilización de sistemas de amplificación electrónica.

Aplicaciones

La presente norma se aplica a las aulas y otros espacios de aprendizaje básico de los pequeños a moderados con volúmenes de tamaño no superior a 566 m³ y accesorios para espacios de aprendizaje de cualquier volumen.

Tabla 2 Máximo con ponderación constante ruido de fondo y los niveles máximos de los tiempos de reverberación en desocupadas, amueblado espacios de aprendizaje

Learning space ^{a)}	Maximum one-hour average A-weighted steady background noise level ^{b,c)} dB	Maximum reverberation time for sound pressure levels in octave bands with midband frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz s
Core learning space with enclosed volume < 283 m ³ (< 10 000 ft ³)	35	0.6
Core learning space with enclosed volume > 283 m ³ and ≤ 566 m ³ (> 10 000 ft ³ and ≤ 20 000 ft ³)	35	0.7
Core learning spaces with enclosed volumes > 566 m ³ (20 000 ft ³) and all ancillary learning spaces	40 ^{d)}	e)

ANEXO 6

TIEMPOS DE REVERBERACION

Tabla 3 Tiempo de reverberación actual

MATERIAL	ÁREA DEL MATERIAL	ABSORCIÓN A LAS DIFERENTES FRECUENCIAS.											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 KHz		2 KHz		4 KHz	
		α	AT	α	AT	α	AT	α	AT	α	AT	α	AT
Block vitrificado.	48.92 m ²	0.01	0.48	0.01	0.48	0.02	0.97	0.02	0.97	0.023	1.12	0.025	1.2
Puerta de madera.	1.70 m ²	0.15	0.25	0.10	0.17	0.06	0.10	0.08	0.13	0.10	0.17	0.05	0.08
Ventanas vidrio 6mm	11.01 m ²	0.10	1.01	0.08	0.88	0.04	0.44	0.03	0.33	0.02	0.22	0.02	0.22
Ranura de ventana.	0.45 m ²	1	0.45	1	0.45	1	0.45	1	0.45	1	0.45	1	0.45
Piso: loseta vinilica.	32.90 m ²	0.04	1.31	0.03	0.98	0.04	1.31	0.04	1.31	0.03	0.98	0.02	0.65
Techo de concreto.	32.90 m ²	0.01	0.32	0.01	0.32	0.02	0.65	0.03	0.98	0.04	1.31	0.05	1.64
Absorción Total (A _T)		3.82		3.28		3.92		4.17		4.25		4.24	
Tiempo de reverberación (seg). (Fórmula de Sabine) $TR = \frac{0.161(V)}{A_T}$		3.71s		4.32 s		3.62 s		3.40 s		3.34 s		3.34 s	

Tabla 4 Tiempo de reverberación de la propuesta

MATERIAL	ÁREA DEL MATERIAL	ABSORCIÓN A LAS DIFERENTES FRECUENCIAS.											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 KHz		2 KHz		4 KHz	
		α	AT	α	AT	α	AT	α	AT	α	AT	α	AT
Lana mineral	25.93m ²	0.25	6.48	0.75	19.44	0.90	23.3	0.87	22.55	0.90	23.39	0.95	24.6
Panel de Yeso	25.93 m ²	0.29	7.51	0.10	2.59	0.05	1.29	0.04	1.03	0.07	1.81	0.09	2.33
Paneles Absorbentes	2.88 m ²	0.22	0.63	0.60	1.72	0.91	2.62	0.93	2.67	0.91	2.62	0.95	2.73
Block vitrificado.	22.98 m ²	0.01	0.20	0.01	22	0.02	0.45	0.02	0.45	0.02	0.52	0.02	0.57
Puerta de PVC	1.70 m ²	0.12	0.20	0.22	0.37	0.17	0.28	0.09	0.15	0.1	0.17	0.1	0.17
Ventanas PVC doble cristal	3.17 m ²	0.17	0.53	0.18	0.57	0.18	0.57	0.18	0.57	0.17	0.53	0.18	0.57
Absorción total (A _T)		15.57		46.7		28.6		27.42		29.04		31	
Tiempo de reverberación (seg). (Fórmula de Sabine) $TR = \frac{0.161(V)}{A_t}$		0.91 s		0.30 s		0.49 s		0.51 s		0.48 s		0.45s	

ANEXO 7

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES

Ventana de PVC con vidrio doble de 6mm (Ver Figura 1)

➤ 0.60 m x 0.90 m



Figura 1 Ventana de pvc

Coefficientes de absorción

MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Ventanas de PVC doble cristal	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18

Puerta de PVC

➤ 2.08 m x 0.82 m



Figura 2 Puerta de pvc

Coeficientes de absorción

MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Puerta de PVC	0.12	0.22	0.17	0.09	0.1	0.1

Placa de lana mineral



Coefficientes de absorción

MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Lana Mineral	0.25	0.75	0.90	0.87	0.90	0.95

Canaletas



Paneles de Absorción

➤ 1.20 m x 0.60 m



Figura 3 Paneles de absorción

Coefficientes de absorción

MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Paneles Absorbentes	0.22	0.60	0.91	0.93	0.91	0.95

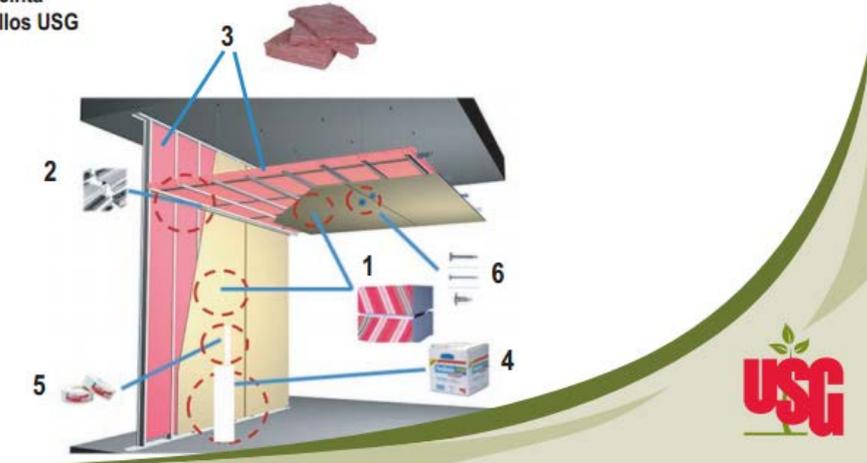
Instalación del Panel de yeso (TABLAROCA)



SISTEMA TT

COMPONENTES DEL SISTEMA:

- 1 Tablero de Yeso marca Tablaroca®
- 2 Perfiles Metálicos USG
- 3 Colchoneta de Fibra de Vidrio
- 4 Compuesto para tratamiento de juntas Redimix®, Redimix® Ultra o Pasta Tablaroca®
- 5 Perfacinta
- 6 Tornillos USG



TIPOS DE SISTEMAS TÉRMICOS

Plafón Corrido

- Materiales:
- Canal listón USG
 - Canaleta carga USG
 - Colchoneta de fibra de vidrio R-13
 - Tablero de yeso marca Tablaroca® 1/2"
 - Perfacinta
 - Adhesivo y tratamiento de juntas Redimix®, Redimix® Ultra o Pasta Tablaroca®

Valor R: 15
Espacio interior: 10 cm

Muro Lambrín

- Materiales:
- Bastidor metálico USG de 4.1
 - Colchoneta de fibra de vidrio R-8
 - Tablero de yeso marca Tablaroca® 1/2"
 - Perfacinta
 - Adhesivo y tratamiento de juntas Redimix®, Redimix® Ultra o Pasta Tablaroca®

Valor R: 8
Espacio interior: 5 cm

Muro Espuma de poliestireno

- Materiales:
- Espuma de poliestireno de 1" R-5
 - Tablero de yeso marca Tablaroca® 3/8"
 - Clavo de 2" con rondana
 - Perfacinta
 - Adhesivo y tratamiento de juntas Redimix®, Redimix® Ultra o Pasta Tablaroca®

Valor R: 8
Espacio interior: 4 cm



AISLANTES TÉRMICOS



Colchoneta fabricada con fibra de vidrio flexible en piezas cortadas a medida estándar

Propiedades Físicas	Método de prueba	Valores
Propagación de flama	ASTM, E-84 UL 723	25
Humo generado	ASTM, E-84 UL 723	50
Rendimiento térmico	C518	R=13



Espuma rígida de poliestireno extruído en pánels. Tiene una superficie lisa y una estructura de celdas cerradas con paredes que se inter-adhieren unas con otras sin dejar vacíos.

Propiedades Físicas	Método de prueba	Valores
Propagación de flama	ASTM, E-84 UL 723	5
Humo generado	ASTM, E-84 UL 723	45.175
Rendimiento térmico	C518	R=5.4



ANEXO 8

Coeficientes de absorción de los materiales actuales

MATERIALES	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Block Vitrificado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.023	0.025
Puerta de Madera	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.05
Ventanas Vidrio 6mm	0.15	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02
Ranura de Ventana	1	1	1	1	1	1
Piso loseta vinilica	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
Techo de concreto	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05

Coeficientes de absorción de los materiales propuestos

MATERIALES	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
	α	α	α	α	α	α
Lana Mineral	0.25	0.75	0.90	0.87	0.90	0.95
Panel de Yeso	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Paneles Absorbentes	0.22	0.60	0.91	0.93	0.91	0.95
Block Vitrificado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Puerta de PVC	0.12	0.22	0.17	0.09	0.1	0.1
Ventanas de PVC doble cristal	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18