



**Control del ruido
en salas de espera de unidades médicas
del sector social.**

T E S I S

que para obtener el grado de Maestra en Arquitectura presenta:

Arq. Miriam German González



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Director de tesis:
Sinodales propietarios:

Sinodales suplentes:

M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ
M. EN ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS
DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ
M EN ARQ. ANTONIO BAUTISTA KURI
M. EN ARQ. ENRIQUE SANABRIA ATILANO

Deseo agradecer a las personas que de una u otra forma contribuyeron para la elaboración de este trabajo de investigación y la obtención de mi grado académico de Maestra en Arquitectura:

En particular a mis asesores: M. en Arq. Francisco Reyna Gómez, M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos, Dr. José Diego Morales Ramírez, M en Arq. Antonio Bautista Kuri, y M. en Arq. Enrique Sanabria Atilano por el interés mostrado en este trabajo de investigación.

A la UNAM por la beca para la realización de los estudios de maestría. Así mismo, le doy las gracias al Laboratorio de Acústica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico por el apoyo con el equipo de medición.

También quiero agradecer a las autoridades las siguientes unidades médicas, por el permiso otorgado para realizar mediciones de ruido en las salas de espera de dichas unidades:

- Del IMSS:

Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8.
Hospital de Gineco obstetricia No. 4 Dr. Luis Castelazo Ayala.

- Del ISSSTE:

Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos.
Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.

A Uffe Thrane Hejlesen por la traducción de información en el idioma Sueco.

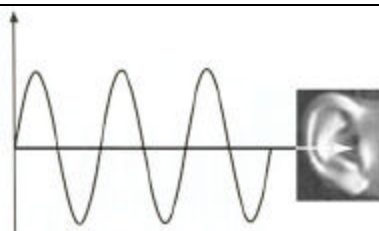
Mis agradecimientos también son expresados para María Eugenia Reyes Rodríguez y Maria Lourdes Valdés Velasco, por su valiosa ayuda con los trámites administrativos.

Igualmente quiero agradecer al Dr. Arturo Orozco Santillán, por sus enseñanzas en el área de acústica y su inagotable paciencia para revisar este documento y contestar todas mis dudas.

Finalmente deseo expresar mis agradecimientos a toda mi familia por su cariño y comprensión.

Jurado	ii
Agradecimientos	iii
Introducción	1

CAPÍTULO 1



El ambiente acústico

1.1 Introducción.....	3
1.2 Principios básicos de acústica.....	3
1.2.1 Sonido y ruido.....	4
1.2.2 Frecuencia, periodo y longitud de onda.....	5
1.2.3 Niveles de parámetros acústicos.....	7
1.2.4 Suma y resta de decibeles.....	10
1.2.5 Propagación del sonido.....	11
1.2.6 Sonido directo y reflejado.....	12
1.3 Percepción del sonido.....	14
1.3.1 El oído humano.....	14
1.3.2 Umbrales.....	15
1.3.3 Escalas de ponderación.....	16
1.4 Cadena del ruido.....	17
1.5 Trastornos auditivos.....	20
1.5.1 Trastorno auditivo provocado por la edad.....	21
1.5.2 Trastorno auditivo provocado por el ruido.....	21
1.6 Efectos del ruido en las personas.....	22
1.7 Criterios para evaluar el ruido.....	24
1.7.1 Nivel de sonido ponderado A.....	24
1.7.2 Descriptores del ruido.....	25
1.7.3 Curvas de valoración del ruido.....	26
1.8 Especificación del nivel de ruido ambiental en un recinto.....	28

CAPÍTULO 2



Arquitectura sanitaria en México

2.1 Introducción.....	31
2.2 El sistema de salud.....	31
2.3 La arquitectura sanitaria.....	32
2.4 Calidad de la atención médica.....	34
2.5 Expectativas d el paciente.....	35
2.6 Normas.....	36

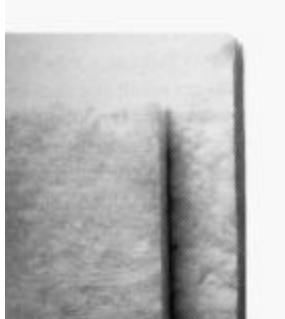
CAPÍTULO 3



Medición del ruido

3.1 Introducción.....	41
3.2 Unidades métricas donde se realizaron las mediciones.....	41
3.3 Objetivo, instrumentación y método de medición.....	50
3.4 Parámetros para el análisis del ruido medido.....	53
3.5 Presentación de los resultados.....	55
3.6 Evaluación de los resultados.....	60

CAPÍTULO 4



Materiales acústicos

4.1 Introducción.....	63
4.2 Absorción del sonido.....	63
4.3 Coeficiente de absorción.....	65
4.3.1 Variación de la absorción.....	65
4.4 Coeficiente de reducción de ruido NRC.....	67
4.5 Coeficiente medio de absorción y tiempo de reverberación.....	68
4.6 Métodos para medir la absorción de materiales.....	69
4.7 Mediciones de absorción.....	70
4.7.1 Materiales que se midieron.....	70
4.7.2 Resultados de las mediciones.....	72
4.8 Aislamiento acústico.....	81

CAPÍTULO 5



Caso de estudio

5.1 Introducción.....	87
5.2 Elección del caso de estudio.....	87
5.3 Evaluación subjetiva de la molestia provocada por el ruido.....	89
5.4 Acondicionamiento acústico del caso de estudio.....	94
5.4.1 Descripción del espacio.....	95
5.4.2 Condiciones acústicas del recinto	
antes del acondicionamiento.....	96
5.2.4.1 Transmisión del ruido.....	96
5.2.4.2 Nivel de voz para una comunicación adecuada... ..	96
5.2.4.3 Tiempo de reverberación.....	98
5.2.4.4 Efecto "fiesta de cóctel".....	100
5.2.4.5 Distancia crítica.....	102
5.2.4.6 Intelligibilidad de la palabra.....	102
5.2.3 Propuesta de acondicionamiento.....	103
5.2.4 Verificación de la propuesta de acondicionamiento.....	108

Conclusiones.....	111
Índice de figuras y tablas.....	113
Glosario.....	116
Fuentes de consulta.....	117

Actualmente se está prestando mayor atención a aspectos ambientales en la labor arquitectónica, con el propósito de generar espacios que proporcionen a los usuarios ambientes de bienestar para el adecuado desarrollo de sus actividades. Para lograr tal objetivo, es necesario analizar varios aspectos de diseño, como son: térmicos, lumínicos y acústicos, entre otros. El presente trabajo de investigación centra su atención solamente en el aspecto acústico, debido a que es el que menos atención ha recibido desde el punto de vista arquitectónico.

La práctica del control del sonido, como ciencia, se inició en los Estados Unidos de Norteamérica a finales de los años 1800s, tratando de mejorar la acústica de aquellos espacios que tienen como uno de sus requerimientos fundamentales el control, difusión y calidad del sonido, como son: teatros, auditorios, iglesias, salas de conciertos, estudios de grabación, entre otros. Años más tarde se extendió esta práctica a otros géneros de edificaciones y ya en la tercera década del siglo XX se hablaba de la acústica en hospitales.

En México se le ha dado escasa atención a la acústica de los espacios arquitectónicos que no sean los que se mencionaron arriba. La ausencia de esta atención se pudo justificar durante un tiempo por que el tema era principalmente estudiado en contextos científicos y abstractos; sin embargo, en la actualidad se cuenta con las herramientas y el conocimiento necesarios para que cualquier espacio sea diseñado como un ambiente de comodidad para los usuarios.

El diseño acústico de un espacio arquitectónico se refiere al hecho de establecer las condiciones acústicas óptimas, apoyándose en parámetros estudiados y en algunos casos establecidos en normas o recomendaciones de diseño, que están en función del uso del espacio. Para lograr dichas condiciones óptimas se debe considerar el *control del ruido*.

Los efectos del ruido pueden ser de diferente naturaleza, alcanzan distintos grados y pueden tener múltiples consecuencias en el ser humano. El daño auditivo inducido por ruido ha sido ampliamente investigado, no así la *molestia* provocada por ruido, ésta ha sido difícil de estudiar por sus características subjetivas, y por lo tanto, menos atendido que el daño auditivo. Sin embargo, es un problema real que forma parte de nuestro entorno y afecta al ser humano de día y de noche, dentro y fuera de los espacios que habita, por ello es importante combatirla. Una forma de lograrlo es mediante el diseño acústico arquitectónico.

La tesis fundamental que sostiene este trabajo es la idea de que el ruido puede y debe ser controlado en los espacios ruidosos que el hombre utiliza en su quehacer cotidiano y sobretodo en aquellos que requieren de condiciones de tranquilidad para evitar el efecto de molestia. La lucha contra el ruido, desde el punto de vista arquitectónico, debería estar apoyada principalmente en el reglamento de construcciones y en normas de diseño y ruido; sin embargo, en lo que respecta al aspecto acústico el primero es muy limitado en sus disposiciones y las normas son, en unos casos, obsoletas y en otros, su información es insuficiente y ambigua. Esta situación probablemente refleja dos hechos, uno, no se ha investigado en México sobre el impacto que el ruido tiene sobre los usuarios, en segundo lugar, las limitaciones impuestas por aspectos económicos, los recursos se canalizan para resolver otras prioridades de las edificaciones.

El género de edificio que se eligió como caso de estudio es el de la salud, y en concreto, las salas de espera para pacientes ambulatorios del sector social, debido a que estos espacios tienen funciones y características peculiares que en la mayoría de los casos lo hacen un ambiente ruidoso.

En estos ambientes el paciente tiene que permanecer el tiempo "necesario" para ser atendido, además de que es el lugar donde los pacientes forman su primera impresión acerca del edificio como un todo. En muchos casos solamente se ha dado solución a aspectos funcionales y se ha descuidado la perspectiva del paciente desde el punto de vista de la comodidad. En una primera aproximación pareciera que estos espacios constituyen para la mayoría de la gente un lugar estresante.

El sector de seguridad social presenta, entre otros problemas, el de insuficiencia y deterioro de inmuebles; actualmente se han empezado a tomar medidas con un enfoque de *calidad* para solucionar los efectos derivados de tal situación. Una de estas medidas es la evaluación de varios aspectos de las unidades médicas con el propósito de elevar al máximo la probabilidad de producir los mejores resultados en la salud y satisfacción de los pacientes. Sin embargo dentro de estos aspectos no se incluyen los acústicos, que desde mi punto de vista puede contribuir a dicho propósito. Por ello, el objetivo de este trabajo es el de mostrar que en un espacio para la salud, ya construido, se pueden mejorar las condiciones ambientales, desde el punto de vista acústico, para el buen desarrollo de las actividades y la comodidad de los usuarios.

Este trabajo de investigación va dirigido a los arquitectos y a los estudiantes de arquitectura. Es importante que el arquitecto comprenda, lo que acústicamente podría implicar sus planteamientos en la fase de diseño arquitectónico. Con esto no quiero decir que deben ser expertos en acústica, pero si tener los conocimientos suficientes para hacer una propuesta y poderla dialogar con el especialista usando una terminología común.

El contenido de la investigación está estructurado en 5 capítulos. Es absolutamente esencial tener un entendimiento de los conceptos físicos y terminología básicos del sonido para proceder a resolver un problema de ruido, por ello se inicia en el capítulo 1 con los conceptos de generación, propagación, cuantificación y percepción del sonido y los efectos que tiene el ruido en el ser humano. El capítulo 2 está dedicado a describir el sistema de salud y la arquitectura sanitaria en México, la transformación que han sufrido estos y que los ha conducido a la necesidad de proporcionar servicios de calidad. También se revisan los aspectos acústicos en normas de diseño y en el reglamento de construcción que podrían ser utilizados para cumplir con dichos servicios de calidad. En el capítulo 3 se describen las unidades médicas donde se realizaron mediciones de ruido, se explica el método de medición y la instrumentación utilizada. Se da una justificación de los parámetros utilizados para el análisis del ruido y se presentan y evalúan los resultados obtenidos de las mediciones de ruido. En este punto se cuenta con el conocimiento necesario de la física del sonido, de la técnica de medición y del análisis del ruido. Los siguientes dos capítulos se relacionan con la propuesta de control de ruido. En el capítulo 4 se explica en qué consiste la absorción y aislamiento del sonido y se presentan los resultados de mediciones en laboratorio de algunos materiales, de éstos se proponen algunos como los más adecuados para usarse en las salas de espera. Finalmente, el capítulo 5 trata de un caso de estudio donde se revisan sus condiciones acústicas desfavorables para los usuarios y se hace una propuesta de acondicionamiento para mejorarlas.

Este contenido fue limitado por el tiempo que se tuvo para el desarrollo del trabajo de investigación; es un hecho que dentro de éste tema hay un sinnúmero de aspectos que deben ser revisados, como son la implementación de la propuesta de acondicionamiento, análisis de costos de instalación y mantenimiento, entre otros. Sin embargo con el contenido de éstos 5 capítulos se cumple con el objetivo de la investigación.

El ambiente acústico

1.1 Introducción

El estudio del sonido es diferente para cada disciplina, por ejemplo, para la psicología es un estímulo que provoca respuestas subjetivas en las personas, para la física es un fenómeno mensurable con diferentes características de propagación, para la medicina es la sensación auditiva y para la arquitectura es una característica clave de los recintos.

La acústica arquitectónica abarca el estudio de la protección contra los ruidos, el análisis del conjunto de intervenciones dirigidas a establecer la intensidad óptima de los sonidos y la adaptación del recinto al uso al que está destinado para que el mensaje sonoro emitido sea transmitido al receptor con la mejor calidad posible.

En este tema de investigación se abordará el problema del ruido en un recinto y las acciones que deben tomarse para disminuirlo. Para dar una solución a dicho problema es esencial entender

varios conceptos referentes a la acústica, algunos de ellos se explican en éste capítulo y otros se irán analizando en los subsiguientes.

1.2 Principios básicos de acústica

La acústica, del griego *akoustikós* que significa oír, es la ciencia del sonido.

¿Qué es el sonido, cómo se propaga, cómo es cuantificado? Son temas que se refieren a la naturaleza física de la acústica. ¿Cómo es percibido el sonido por el oído humano? Se refiere a la parte psicofisiológica de la acústica.

El propósito de este capítulo es introducir al lector a los aspectos de la acústica antes mencionados porque los dos están fuertemente relacionados. El estudio de éstos nos ayudará a entender la naturaleza del sonido, la interacción con nuestro sistema auditivo y su comportamiento en diferentes contextos.

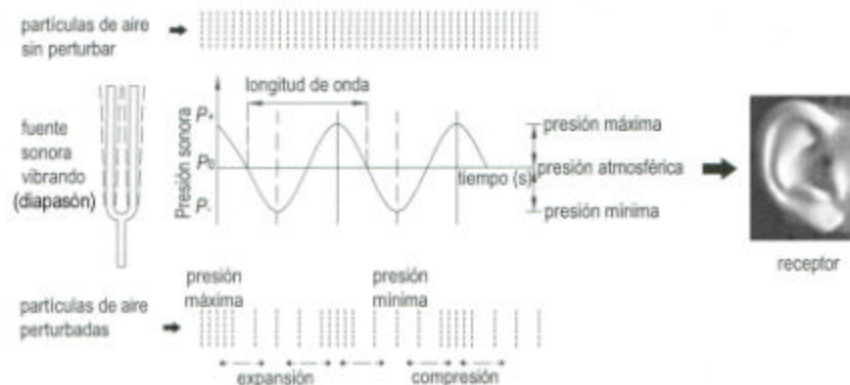


Figura 1. Propagación de una onda sonora en el aire.

1.2.1 Sonido y ruido

El sonido

Es la sensación producida en el órgano del oído, generada por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso.

En el caso del aire; el sonido se genera y se propaga como se muestra en la figura 1. Este fenómeno se describe a continuación.

El elemento generador de sonido se denomina fuente sonora (cuerdas vocales, instrumento musical, motor eléctrico, etc), en este caso es un diapasón.¹

Antes de generar sonido con el diapasón, las partículas de aire se encuentran en reposo y homogéneamente distribuidas.

La generación del sonido tiene lugar cuando se hace vibrar la fuente sonora. En este momento se altera la atmósfera que le rodea al perturbar las partículas de aire más próximas. Estas partículas de aire transmiten la vibración a las partículas de aire adyacentes y éstas a su vez a nuevas partículas contiguas (las partículas no se desplazan con el movimiento, sino que solamente oscilan alrededor de su posición de equilibrio) generándose una compresión y expansión de éstas.

La vibración llega al oído, hace vibrar al tímpano y a través de un mecanismo complejo (que se describe más adelante) se produce la sensación de audición en el receptor.

Si la perturbación de las partículas de aire es periódica, su propagación es un movimiento ondulatorio longitudinal, que se supondrá propagándose en el eje 0-x.

¹ Barra metálica en forma de U, que al hacerlo vibrar produce un tono determinado.

Las ondas sonoras en el aire son causadas por la fluctuación de la presión, arriba P_+ (presión máxima) y abajo P_- (presión mínima) del valor de la presión atmosférica P_0 (valor estándar 101.3×10^3 Pa), esta variación en la presión es llamada *presión sonora*, en unidades de pascales (Pa).

El ruido

Desde el punto de vista psicológico el ruido se define como un sonido que es indeseado por el receptor, porque éste es desagradable, molesta, interfiere con actividades importantes o porque se cree que es dañino fisiológicamente².

Dependiendo de los rasgos individuales, del ambiente en el que se encuentre el receptor (laboral, de descanso, de recreación, etc.) y de las actividades que esté realizando, un sonido o conjunto de sonidos pueden ser o no considerados como ruido.

Desde el punto de vista físico el ruido es una variación aleatoria de la presión sonora como se muestra en la figura 2.

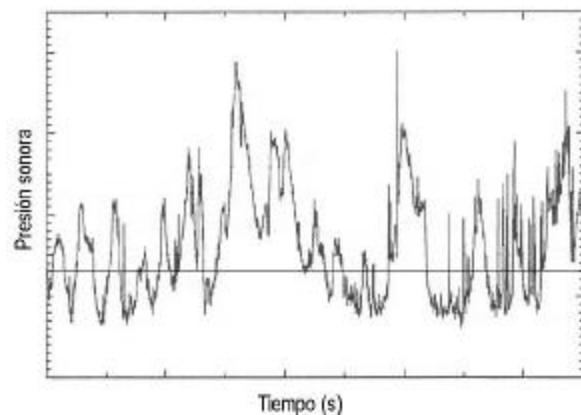


Figura 2. Evolución temporal de un sonido aleatorio.

² Gary W. Evans *Environmental Stress*, p. 46.

1.2.2 Frecuencia, periodo y longitud de onda

La frecuencia, el periodo y la longitud de onda del sonido son cantidades que describen la naturaleza de las oscilaciones de la presión provocadas por una vibración en un medio (aire, en este caso).

Frecuencia (f)

El número de veces por segundo que las fluctuaciones de la presión sonora oscilan entre valores positivos y negativos se conoce como frecuencia f y se expresa en Hertz (Hz). En la figura 3 se muestran oscilaciones de frecuencias de 1 y 5 Hz.

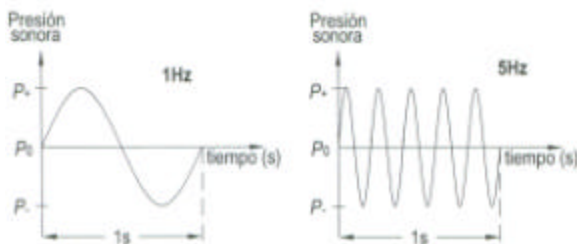


Figura 3. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 5 Hz.

Los sonidos con frecuencias inferiores a 20 Hz se llaman infrasonidos; de 20 Hz a 20 kHz son sonidos audibles³ (para personas de audición normal y en edades de entre 18 y 25 años⁴) y con frecuencias superiores a 20 kHz se llaman ultrasonidos.

El campo audible puede dividirse, de forma arbitraria, en tres secciones⁵:

- a) frecuencias bajas, de 20 a 360 Hz;
- b) frecuencias medias, de 360 a 1400 Hz y
- c) frecuencias altas, de 1.4 a 20 kHz.

Para describir el contenido frecuencial de un sonido y para propósitos de medición, el rango de frecuencias audible (20 Hz a 20 kHz), se puede dividir en bandas de ancho variable; esto se hace mediante un filtro electrónico colocado en el

sistema de medición. Las bandas más utilizadas son las llamadas bandas de octava y bandas de tercios de octava mostradas en la figura 5.

La sensación subjetiva que produce una determinada frecuencia en el oído es conocida como tono, un tono grave está caracterizado por una frecuencia baja, en tanto que uno agudo lo está por una frecuencia alta.

En la figura 4 se representa dos casos de sonidos, en el primero se muestra la señal para un tono puro, cuyo espectro se reduce a una línea única por existir una sola frecuencia. En el segundo caso se representa una variación aleatoria de presión sonora, el espectro en éste caso muestra varias líneas porque existe una gran cantidad de frecuencias.

Un tono puro es la onda sonora más simple, es una onda sinusoidal con frecuencia, amplitud y longitud de onda definidas. Un tono puro es, por ejemplo, el generado por un diapasón (Fig. 4).

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia (tono puro), sino que están constituidos por múltiples frecuencias o tonos (sonido complejo). Estos sonidos se pueden visualizar al graficarlos en cualquiera de las dos siguientes formas:

a) Dominio del tiempo o **señal** (Figura 4 a), se grafica la presión sonora o amplitud en el eje de las ordenadas y en el de las abscisas el tiempo, no se distinguen las frecuencias presentes; a menos que sea un solo tono puro.

b) Dominio de la frecuencia o **espectro** (Figura 4 b). El espectro de un sonido es la gráfica que relaciona la amplitud o presión sonora en el eje de las ordenadas, en función de todas las componentes frecuenciales graficadas en el eje de las abscisas.

³ Algunos autores indican que el rango auditivo va de aproximadamente 15 Hz a 16 kHz.

⁴ J. Llinares Galiana, et-al, *Acústica Arquitectónica y Urbanística*, p.108.

⁵ Ibidem.

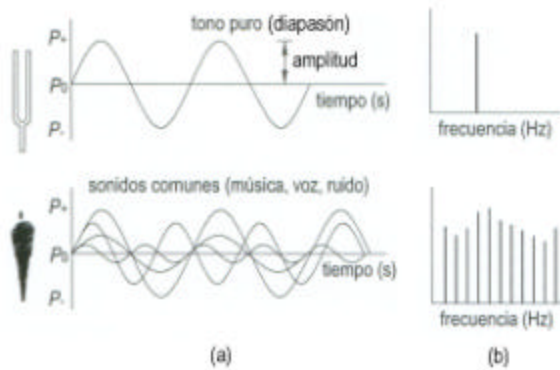


Figura 4. Señal y espectro de un sonido.

Tanto las fuentes sonoras como las características acústicas de los materiales que se encuentran en un recinto dependen de la frecuencia. Por lo tanto, se debe considerar si se requiere un estudio en bandas de octava, que generalmente contienen suficiente información acerca del sonido medido, o si se requiere hacer un análisis más profundo en bandas de tercios de octava o con una resolución mayor.

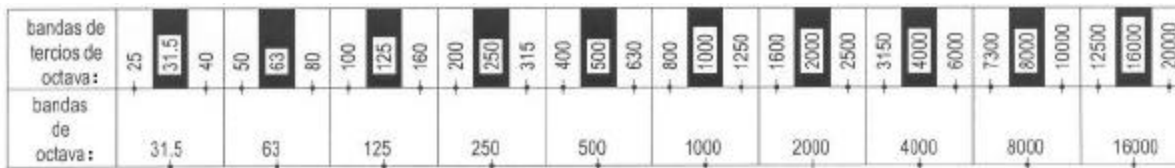


Figura 5. Rango de frecuencia audible dividido en bandas de octava y tercios de octava. Los números corresponden a la frecuencia central de la banda (en Hertz).

Periodo (δ)

El periodo es el *tiempo* que se requiere para un ciclo completo de una onda sinusoidal, es el recíproco de la frecuencia de un tono puro.

Por ejemplo: el periodo de 500 Hz es 0.002 s, el de 10 Hz es 0.1 s. En la figura 6 se muestra el periodo de ondas sonoras de 1 y 5 Hz.

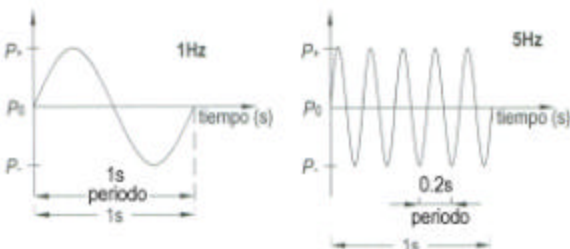


Figura 6. Periodo de ondas sonoras de 1 y 5 Hz.

Longitud de onda (λ)

Otra propiedad importante del sonido y que está relacionado con su frecuencia es la longitud de onda, definida como la *distancia* que viaja la onda sonora de un tono puro durante un periodo completo.

En la figura 7, para la onda sonora de 1 Hz, ésta es indicada como la distancia entre los dos puntos alternados que tocan el eje del tiempo, para la onda de 5 Hz es la distancia entre dos puntos adyacentes mínimos de dicha onda sonora.

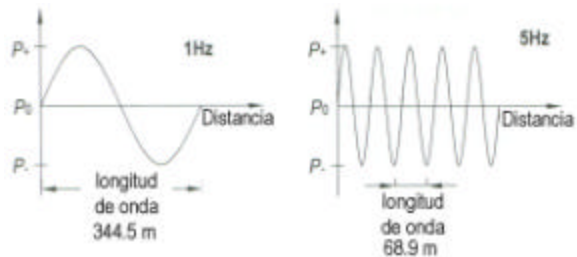


Figura 7. Longitud de onda para 1 y 5 Hz (temperatura de 22°C).

La longitud de onda está relacionada con la frecuencia y la velocidad del sonido por la siguiente expresión:

$$\lambda = c/f$$

donde:

- λ = longitud de onda en m
- c = velocidad de propagación del sonido en m/s
- f = frecuencia en Hertz

La velocidad de propagación del sonido (c) está en función de la elasticidad y densidad del medio de propagación (en el aire ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica y de la temperatura), y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$c = 20.05\sqrt{T} \text{ m/s}$$

donde:

T = temperatura absoluta del aire en grados Kelvin, es igual a 273.2 más la temperatura en grados Celsius.

Para temperaturas cercanas a los 20°C la velocidad del sonido es:

$$c = 331.5 + 0.58 \cdot ^\circ\text{C} \text{ m/s}$$

Si la velocidad del sonido es constante, la longitud de onda y la frecuencia tienen una relación inversa, como se observa en la figura 8; es decir, conforme la frecuencia decrece, la longitud de onda incrementa, y si la frecuencia incrementa, la longitud de onda decrece.

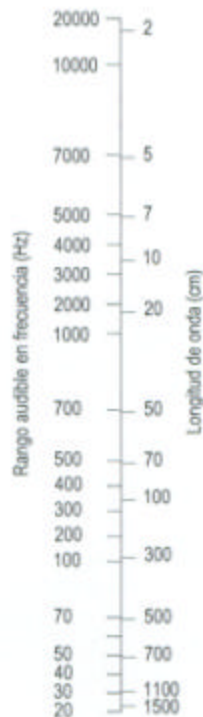


Figura 8. Frecuencia y longitud de onda asociada.

Ejemplo:

a) Calcular la velocidad del sonido en el aire a 22°C y calcular la longitud de onda para las frecuencias de 250 y 2500 Hz a la misma temperatura.

Cálculo:

$$T = 273.2 + 22 = 295.2 \text{ Kelvin}$$

$$c = 20.05\sqrt{295.2} = 344.5 \text{ m/seg}$$

$$\lambda = 344.5 / 250 = 1.4 \text{ m}$$

$$\lambda = 344.5 / 2500 = 0.14 \text{ m}$$

1.2.3 Niveles de parámetros acústicos

Existen dos razones fundamentales para hacer uso de una escala logarítmica para expresar parámetros acústicos. Primera, el rango de presiones que reconoce el oído humano es muy grande, va desde un valor del orden de 20 μPa hasta, aproximadamente, 100 Pa (ver figura 22).

Segunda, el mecanismo auditivo no responde ante los cambios de presión de manera proporcional o de forma lineal, sino que está dada por la ley de Weber-Fechner, que establece que la magnitud de la sensación percibida es proporcional al logaritmo del estímulo que lo provoca. Por estas razones las cifras manejadas son mucho más simples utilizando una escala logarítmica.

Los parámetros para expresar la magnitud de un campo sonoro son: la presión, potencia e intensidad sonoras.

Debido a que el mecanismo auditivo responde a la **presión sonora**, ésta es la cantidad que usualmente se utiliza para expresar la magnitud de un campo sonoro. Se define como la fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie, su unidad es el Pascal (Pa) que equivale a 1 Newton/m².

El nivel de presión sonora L_p (NPS), en decibeles, para cualquier sonido, cuando la presión es conocida, esta dado por la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$$

que es equivalente a:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right)$$

donde:

L_p = nivel de presión sonora en decibeles (dB)

p = **presión sonora efectiva**, en Pascales.

p_{ref} = presión sonora de referencia, usualmente se considera 20 μ Pa.

Presión sonora efectiva

Los sonidos más comunes son perturbaciones de las partículas de aire, positivas (compresión) y negativas (expansión) medidas a partir de un valor de presión en equilibrio (presión atmosférica). Si se quisiera obtener el valor promedio de esas perturbaciones de presión, el resultado sería cero porque hay igual número de presiones positivas como de negativas. Por lo tanto el valor promedio de la presión no es una medida útil. Se debe emplear una medida que permita que los efectos de las presiones negativas sean sumados (más que restados) a las presiones positivas.

Tal medida es la presión sonora efectiva o también llamada *rms* (root mean square), que se obtiene de la siguiente forma:

1°. El valor de la presión (p) en cada instante del tiempo se eleva al cuadrado,

2°. Los valores al cuadrado (p^2) son sumados y promediados entre el tiempo que duró la medición,

3°. Se obtiene la raíz cuadrada del valor anterior ($\sqrt{p^2}$) y el resultado es el valor de la presión efectiva.

Al elevar al cuadrado las presiones negativas se convierte en positivas y al hacer la suma de todas las presiones el resultado será diferente de cero, por lo tanto la presión efectiva es una medida útil de la magnitud de las ondas sonoras.

Ejemplos:

a) Calcular el nivel de presión sonora (NPS) para dos ondas sonoras con amplitud de presión efectiva o *rms* de 1 Pa y 100 Pa.

b) El nivel de presión sonora del sonido de una sirena de ambulancia es de 105 dB. ¿Cuál es la presión sonora efectiva?

Cálculo para el inciso a:

Sustituyendo el valor de la presión efectiva en la siguiente ecuación se obtiene:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} (5 \cdot 10^4) = 94 \text{ dB}$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{100}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} (5 \cdot 10^6) = 134 \text{ dB}$$

Con este ejemplo se comprueba que 1Pa de presión es igual a un nivel de presión de 94 dB, como se observa en el nomograma de la figura 21.

Cálculo para el inciso b:

Sustituyendo el valor del nivel de presión sonora en la siguiente ecuación se obtiene:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$$

$$105 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$\frac{105}{20} = \log_{10} \left(\frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$\text{antilog } 5.25 = \text{antilog} \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$1.7 \cdot 10^5 = \frac{p}{2 \cdot 10^{-5}}$$

$$1.7 \cdot 10^5 \times 2 \cdot 10^{-5} = p = 3.5 \text{ Pa}$$

La segunda cantidad comúnmente medida en acústica es la **intensidad sonora**, definida como el flujo de energía sonora por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Las unidades son Watts por metro cuadrado (W/m^2).

El nivel de intensidad sonora L_I se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)$$

donde:

L_I = nivel de intensidad sonora en decibeles (dB)

I = intensidad sonora conocida

I_{ref} = intensidad sonora de referencia, usualmente se considera $10^{-12} W/m^2$

Ejemplo:

Un altavoz, con un diámetro de 25 cm, radia 20 microWatts. ¿Cuál es el nivel de intensidad sonora en la bocina?

Cálculo:

La intensidad sonora es la potencia por unidad de área, entonces primero se debe calcular el área en que está radiando el altavoz, la cual se determina con la siguiente ecuación:

$$A = \mathbf{p} \cdot r^2 = \mathbf{p} \left(\frac{0.25}{2} \right)^2 = 0.049 m^2$$

Ahora se puede calcular la intensidad sonora con la siguiente ecuación:

$$I = \left(\frac{W}{A} \right) = \left(\frac{20 \cdot 10^{-3}}{0.049} \right) = 0.41 W/m^2$$

Este resultado se sustituye en la siguiente ecuación para calcular el nivel de intensidad sonora:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)$$

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.41}{10^{-12}} \right) = 116 \text{ dB}$$

Potencia sonora: es la energía sonora por unidad de tiempo que produce una fuente. El nivel de potencia sonora se obtiene con la siguiente expresión:

$$L_w = 10 \log_{10} (W / W_{ref})$$

donde:

L_w = nivel de potencia sonora en decibeles (dB)

W = potencia sonora conocida

W_{ref} = potencia sonora de referencia, usualmente se considera $10^{-12} W$

Ejemplos:

a) Determina el nivel de potencia sonora de una sirena de ambulancia que genera 0.1 W de energía sonora.

b) Determina la potencia sonora de una máquina cuyo nivel de potencia sonora es 125 dB.

Cálculo para el inciso a:

Sustituyendo el valor de la potencia sonora en la siguiente ecuación se obtiene:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)$$

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.1}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \log_{10} (10^{11}) = 110 \text{ dB}$$

Cálculo para el inciso b:

Sustituyendo el valor del nivel de presión sonora en la siguiente ecuación se obtiene:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)$$

$$125 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right)$$

$$\frac{125}{10} = \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right)$$

$$\text{antilog } 12.5 = \text{antilog} \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right)$$

$$13.16 \cdot 10^{12} = \frac{I}{10^{-12}}$$

$$3.16 \cdot 10^{12} \times 10^{-12} = I = 3.16 \text{ W}$$

Una analogía que ayuda a entender la diferencia entre el nivel de potencia acústica y los otros dos niveles explicados es imaginar que el nivel de potencia acústica está relacionado con la cantidad total de calor producido por un horno, mientras que cualquiera de los otros dos niveles son análogos a la temperatura producida en un punto de la casa.

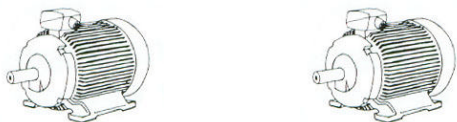
Debido a que la potencia sonora de una fuente es independiente de su localización, la especificación de la localización no se requiere para obtener el nivel de potencia sonora; no así para la presión e intensidad sonora, debido a que ésta varía con la distancia de la fuente.

1.2.4 Suma y resta de decibeles

Cuando se combinan decibeles no se puede hacer con matemáticas aritméticas; por ejemplo, para el caso de fuentes no coherentes, fuentes que no son idénticas en frecuencia y fase (sus patrones de presión son diferentes en espacio y tiempo), si se suma 60 dB más 60 dB el resultado no es 120 dB, sino, 63 dB como lo indican las matemáticas de logaritmos.

En la figura 9 se observan dos fuentes sonoras que emiten ruido a diferente nivel, están ubicadas una junto a la otra y operando simultáneamente.

De la tabla 1 (usada a escala general) se obtiene la suma de estas dos fuentes. La diferencia entre los dos niveles es de 10 dB; entonces, el resultado es igual al nivel de la fuente más ruidosa sola porque, según la tabla 1, no se le suma ningún decibel.



Fuente sonora 1= 80 dB Fuente sonora 2 = 90 dB

Figura 9. Fuentes sonoras que emiten ruido a diferente nivel.

Tabla 1. Suma de decibeles.

Diferencia entre los niveles que se está sumando (dB)	Decibeles que se deben sumar al nivel más alto
0 ó 1	3
2 a 4	2
5 a 9	1
9 ó más	0

En la figura 10 se observan dos fuentes sonoras que emiten ruido al mismo nivel, están ubicadas una junto a la otra y operando simultáneamente. El resultado de la suma de estas dos es de 83 dB; debido a que la diferencia entre los dos niveles es de 0 dB, se le suman 3 dB a una de las fuentes.



Fuente sonora 1= 80 dB Fuente sonora 2 = 80 dB

Figura 10. Fuentes sonoras que emiten ruido al mismo nivel.

Si ahora tenemos el caso de la figura 11, donde varias fuentes están operando simultáneamente (6 en este ejemplo), en el mismo sitio y con el mismo nivel cada una (70 dB), el nivel sonoro total es el nivel de una sola fuente más $10 \cdot \log(n)$, donde n el número de fuentes iguales. De la tabla 2 se obtiene que se deben sumar 8 dB a una sola fuente, por lo tanto, el resultado es 78 dB.

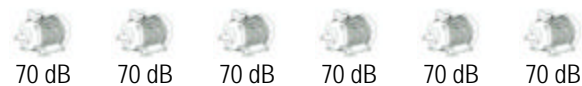


Figura 11. Fuentes sonoras que emiten ruido al mismo nivel.

Tabla 2. Corrección de decibeles para varias fuentes.

Número de fuentes idénticas	Decibeles que se deben sumar a una sola fuente
2	3
Doble de 2 = 4	Sumar 3 dB a la fuente
3	5
4	6
5	7
6	8
7	8
8	9
10	10
No. de fuentes incrementada por 10	Sumar 10 dB a la fuente
15	12
20	13
50	17
100	20

Se observa en la tabla 2 que cada vez que el número de fuentes es incrementada al doble, se deben agregar al nivel sonoro 3 dB.

Cuando se necesita conocer el nivel sonoro con que contribuye una sola fuente, cuando varias fuentes están presentes y operando simultáneamente se requiere hacer una disminución de decibels, para ello se puede usar la figura 12⁶, donde A y B son los niveles a restar.

Como ejemplo de resta de decibels, supóngase el siguiente caso;

- el nivel del ruido de fondo más el nivel de una fuente sonora es de 60 dB (nivel A)
- Si se apaga la fuente sonora el nivel de ruido de fondo es de 55 dB (nivel B)

¿Cuál es el nivel de la fuente sonora sola?

La diferencia entre los niveles A y B es de 5 dB; entonces, del nomograma (D-) se obtiene que se debe restar 2 dB al máximo nivel para obtener el nivel de la fuente sonora. Es decir: $60 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 58 \text{ dB}$ (nivel de la fuente sonora).

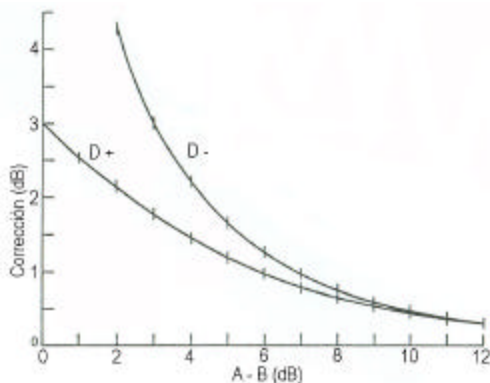


Figura 12. Nomograma para sumar y restar niveles sonoros.

1.2.5 Propagación del sonido

Existen cuatro fenómenos principales por los cuales el sonido cambia de dirección durante su propagación, a saber: reflexión, refracción, difracción y difusión, éstos ocurren cuando una onda sonora encuentra un obstáculo o un cambio en el medio.

Reflexión

Si en el recorrido de una onda sonora se encuentra un obstáculo relativamente grande respecto a la longitud de onda, parte de la energía acústica retorna, originando el fenómeno de la reflexión. Para una superficie plana y lisa, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión respecto a una línea perpendicular a la superficie, como se muestra en la figura 13.

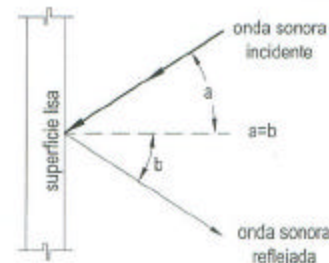


Figura 13. Reflexión de ondas sonoras.

Difusión

Si en el recorrido de una onda sonora se sitúa un obstáculo con superficie rugosa la energía sonora que incide se dispersa en múltiples direcciones (figura 14), dando lugar al fenómeno de difusión del sonido.

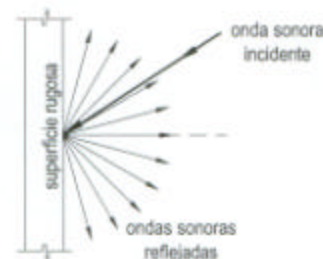


Figura 14. Difusión de ondas sonoras.

Difracción

Es el cambio en la dirección del sonido como resultado de su paso alrededor de un obstáculo. La figura 15 ilustra este fenómeno; se considera una onda sonora viajando libremente que golpea la esquina de un obstáculo, un muro en este caso, la esquina del muro actúa como una nueva fuente radiando sonido (de menor nivel) hacia atrás del muro, en la llamada zona de sombra acústica.

⁶ D.A. Bies & C.H. Hansen, *Engineering noise control: theory and practice*, p.23.

El fenómeno de la difracción depende del tamaño del obstáculo y de la longitud de onda del sonido. Por ejemplo, considerando una velocidad del sonido de 345 m/s, a una frecuencia de 34 Hz le corresponde una longitud de onda de 10.14 metros; entonces, cualquier obstáculo de dimensiones menores que esta, resulta pequeño y por lo tanto el sonido lo bordeará.



Figura 15. Difracción de ondas sonoras.

Refracción

Cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente; como puede ser agua y aire, o cuando hay un cambio en las condiciones (del mismo medio) de temperatura, humedad o viento, por ejemplo, se origina un cambio de dirección del sonido, dándose el fenómeno de la refracción.

En la figura 16 se ilustra este fenómeno, c_1 representa la velocidad del sonido en el medio incidente y c_2 es la velocidad en el medio de transmisión.

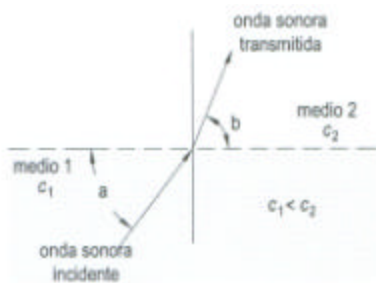


Figura 16. Refracción de ondas sonoras.

1.2.6 Sonido directo y reflejado

Un receptor ubicado en cualquier punto de un recinto recibe de dos formas la energía radiada por una fuente sonora, una parte de ésta le llega en forma directa (sonido directo) y la otra de forma indirecta (sonido reflejado) como se muestra en la figura 17.

El **sonido directo**, es aquel que en su camino no encuentra ningún obstáculo y llega directamente desde la fuente al receptor; la energía del sonido, en este punto, sufrirá una atenuación por la distancia recorrida y por la absorción del aire durante su recorrido desde la fuente sonora.

El **sonido reflejado**, es el que se origina como consecuencia de las reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies del recinto y objetos.

Las reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo se llaman primeras reflexiones, las que llegan posteriormente se conocen como reflexiones tardías y forman la llamada *cola reverberante*. Este sonido llegará al receptor con un tiempo de retraso provocado por la distancia recorrida desde la fuente hasta éste. La atenuación que sufre el sonido reflejado se debe, principalmente, a la absorción de la energía acústica en las superficies del recinto y objetos.

El oído humano tiene la capacidad de integrar en una sola percepción todos los sonidos recibidos dentro de 50 ms (aproximadamente). Por ello, la percepción de todas las reflexiones que llegan a un oyente, dentro de este tiempo, no son diferenciadas respecto al sonido directo y ayudan a reforzar a este sonido directo, lo que produce un incremento en el nivel sonoro. Por el contrario, si las reflexiones llegan con un retardo de más de 50 ms y con un nivel elevado, éstas se percibirán como una repetición del sonido directo.

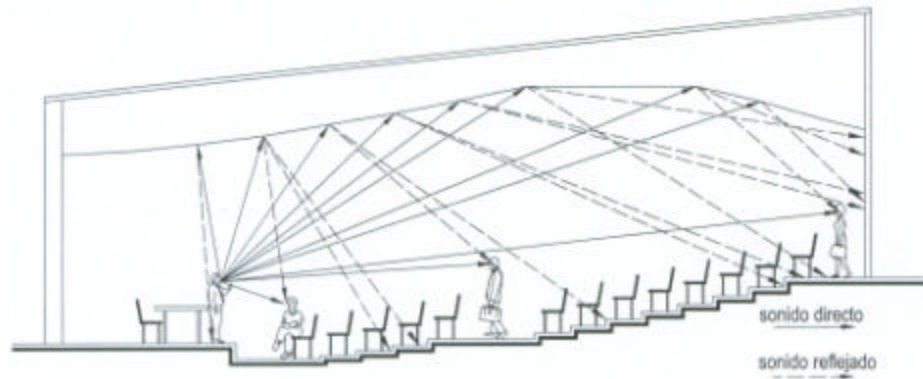


Figura 17. Sonido directo y reflejado.

La energía sonora en cualquier punto de un recinto es la suma de una energía de valor variable y otra de valor constante. La primera corresponde al sonido directo y depende de la ubicación del punto (disminuye conforme el receptor se aleja de la fuente). La segunda corresponde al sonido indirecto.

La zona donde predomina el sonido directo se denomina zona de campo directo, en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo directo (L_D), disminuye con la distancia a la fuente sonora. La zona donde predomina el sonido reflejado recibe el nombre de zona de campo reverberante, en esta zona el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo reverberante (L_R), se mantiene constante.

La distancia para la cual $L_D = L_R$ se denomina distancia crítica D_c (Figura 18).

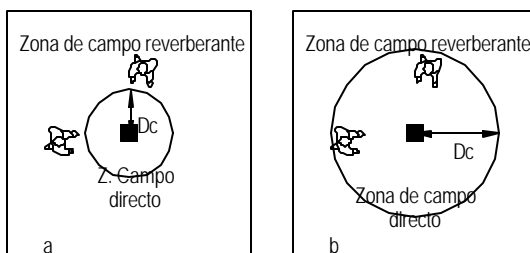


Figura 18. Representación esquemática de la zona de campo directo y reverberante.

La distancia crítica es de considerable importancia en diferentes tipos de recintos. Por ejemplo, en aquellos lugares donde se requieren condiciones para una correcta inteligibilidad de la palabra y en aquellos recintos donde se desea proteger del ruido a personas que se encuentran a una cierta distancia de la fuente sonora.

Si el recinto tiene un gran volumen o tiene poco material absorbente, la distancia crítica será pequeña (Figura 18a) y el nivel de campo reverberante será muy alto. En estas condiciones, a poca distancia de la fuente se encontrará la zona de campo reverberante donde no es buena la inteligibilidad de la palabra.

En un recinto con las características del caso de arriba y además con problemas de ruido puede suceder lo siguiente. Al incrementar la cantidad de material absorbente se incrementa la distancia crítica (figura 18b) y se reducirá el nivel de ruido que recibe la gente que se encuentra fuera de la distancia crítica de la fuente ruidosa. Pero no se reducirá el nivel de ruido que reciben las personas que se encuentran dentro de la distancia crítica.

La demostración de lo anterior y la relación que existe entre el nivel de campo reverberante y el tiempo de reverberación se verá en el capítulo 5.

1.3 Percepción del sonido

1.3.1 El oído humano

El mecanismo auditivo, mostrado en un corte esquemático en la figura 19, se divide para su estudio en tres partes: el oído externo, medio e interno.



Figura 19. Corte esquemático del oído.

Oído externo

El oído externo comprende la parte visible llamada oreja o pabellón auricular y el canal auditivo.

La oreja ayuda a distinguir la dirección y la localización de la fuente sonora.⁷ Los seres humanos no podemos, como otros mamíferos, mover el pabellón auricular para mejorar la capacidad auditiva y la localización de la fuente sonora, esto se suple con el movimiento de toda la cabeza. La figura 20 ilustra el efecto que tiene el sonido en el tímpano cuando éste llega de frente a la persona (0 grados) y cuando llega de lado (90 grados)⁸. Esto indica que se escucha mejor cuando el sonido proviene de lado que de frente a la persona.

Las ondas sonoras (variaciones de presión del aire) son captadas por la oreja y conducidas por el canal auditivo hasta llegar al tímpano. Las

variaciones de presión del aire imprimen al tímpano vibraciones que son transmitidas al oído medio.

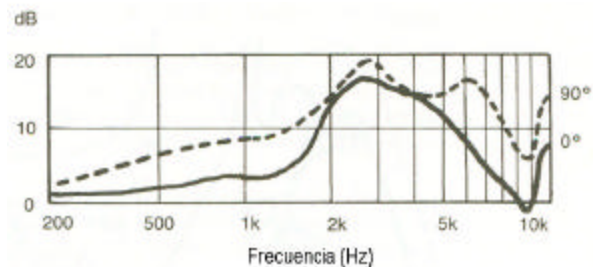


Figura 20. Efecto en la presión sonora que tiene el sonido directo y reflejado en el tímpano.

Para las frecuencias de alrededor del rango de entre 3 kHz la energía sonora se transmite de una manera más eficiente del canal auditivo hacia el tímpano, por ello el oído es más sensible en estas frecuencias.

Oído medio

El oído medio es un conducto estrecho que va desde la membrana timpánica hasta la ventana oval y está formado por tres huesos pequeños y móviles llamados martillo, yunque y estribo. El martillo está unido al tímpano y el estribo a la ventana oval.

El oído medio tiene que conseguir que las vibraciones que se producen en el aire que nos rodea lleguen al oído interno y lo consigue por la vibración de la membrana timpánica y de los tres huesecillos.

Oído externo

La ventana oval es la entrada al oído interno, el cual está formado por la cóclea, vestíbulo y tres canales semicirculares. El oído interno es la parte más sensible del oído ya que aquí se encuentran los órganos de la audición y del equilibrio.

⁷ David M. Howard y James Angus, *Acoustics and Psychoacoustics*, p. 66.

⁸ F. Alton Everest, *The master handbook of Acoustics*, p. 20.

La cóclea es un tubo hueco en espiral con forma de caracol relleno de un líquido denso. La cóclea consta de tres rampas enrolladas, la timpánica, vestibular y media; la primera y la última están separadas por la membrana basilar donde se localiza el órgano de Corti, el cual está compuesto por células sensoriales llamadas células pilosas (figuras 29 y 30).

Una vez que la onda sonora ha alcanzado la ventana oval provoca que los líquidos de la cóclea vibren, la vibración estimula las células pilosas, quienes transmiten las señales al nervio auditivo, y éste lleva la información al cerebro, dando así lugar a la percepción del sonido.

1.3.2 Umbrales

La sensibilidad del oído varía sobre un amplio rango de niveles de presión sonora, los valores inferiores y superiores que limitan este rango se llaman umbrales auditivos y son los siguientes.

Umbral de audición

Es una referencia de la presión acústica mínima que el oído puede detectar a la frecuencia de 1kHz; aunque éste depende de cada individuo, y para efecto de que la escala de decibeles sea positiva, se ha fijado en 0 dB (no significa ausencia de sonido).

Umbral de dolor

Se le llama de esta forma al nivel cuando la presión sonora produce una sensación de molestia o dolor y se encuentra próximo a los 130 dB a una frecuencia de 1 kHz (para algunos autores se encuentra en los 120 dB⁹), también varía para cada persona.

En pascuales el rango auditivo va de 20 μ Pa a 100 Pa, valores que equivalen a los 0 dB del umbral de audición y los 130 dB del umbral de dolor, respectivamente. En el nomograma de la figura 21 se puede observar esta equivalencia.

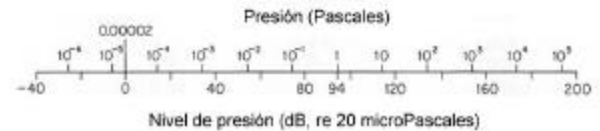


Figura 21. Nomograma relacionando la presión en Pascales con el nivel de presión en dB.

El rango de frecuencias y presiones sonoras (en dB), a las que es sensible el oído se representan en la figura 22¹⁰, en ella también se observa la variación de los umbrales en función de la frecuencia.

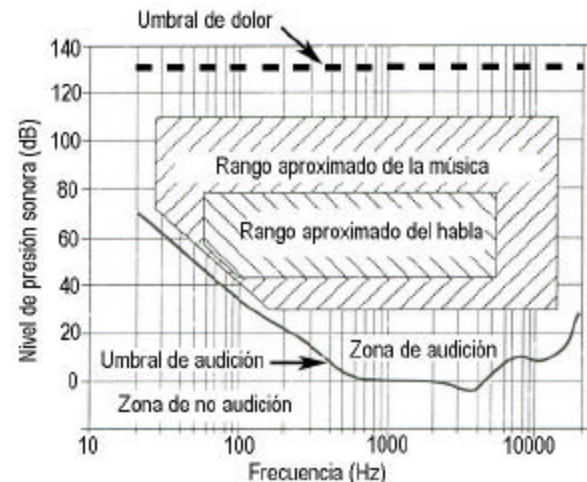


Figura 22. Niveles audibles en función de la frecuencia.

Del análisis de la figura 22 se pueden dar las siguientes conclusiones:

- El oído humano no tiene la misma sensibilidad para toda la banda de frecuencias audibles.
- La zona de frecuencias donde es más sensible el oído se encuentra entre 2 y 5 kHz, aproximadamente.
- El oído es muy insensible a bajas frecuencias para niveles bajos de presión sonora. El nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser más elevado que el correspondiente a un sonido de frecuencias medias para que ambos produzcan la misma sonoridad.
- Para frecuencias inferiores a 1000 Hz, aproximadamente, el umbral asciende de manera regular con el decrecimiento de la frecuencia.

⁹ Antoni Carrión, *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, p.36.

¹⁰ David M. Howard y James Angus, op. cit., p.80.

e) Para frecuencias superiores a 5000 Hz, aproximadamente, el crecimiento del umbral es mucho más repentino e irregular.

La respuesta del oído a la frecuencia y a la amplitud de las variaciones de presión acústica es de la siguiente forma:

- El tono o sensación de agudeza es una característica de la frecuencia; por lo que, un sonido se percibe como más grave cuanto menor es su frecuencia.

- La sonoridad o sensación de intensidad es una característica de la presión acústica, cuanto más alto es el valor de la presión más intenso parece el sonido; sin embargo, la sonoridad no es lineal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Respuesta subjetiva a cambios de niveles sonoros¹¹

Nivel de presión sonora (dB)	Percepción
NPS + 3	Apenas perceptible
NPS + 5	Claramente perceptible
NPS + 7	50% más ruidoso
NPS + 10	Dos veces más ruidoso
NPS + 16	Tres veces más ruidoso
NPS + 20	Cuatro veces más ruidoso

1.3.3 Escalas de ponderación

A través de los años se han ido desarrollando escalas de ponderación para diferentes propósitos, entre ellos el de evaluar subjetivamente el impacto del ruido en el oído.

Originalmente fueron propuestas las ponderaciones A, B y C y más recientemente la ponderación D. La figura 23 muestra las curvas de la respuesta en frecuencia de dichas ponderaciones.

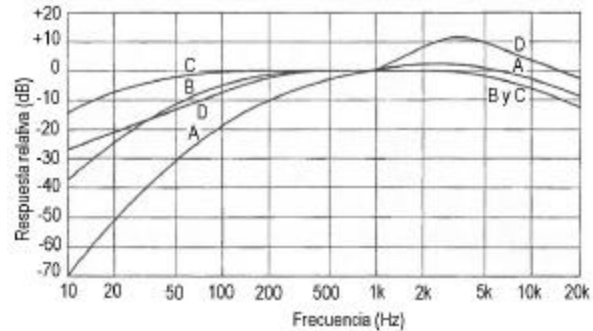


Figura 23. Respuesta en frecuencia para las escalas de ponderación A, B, C y D.

Escala de ponderación A

Corresponde aproximadamente a la forma en que el oído responde a la sonoridad de los sonidos. Los sonidos a bajas frecuencias son filtrados o ignorados, como lo hace el oído.

Esta escala originalmente fue la más usada para niveles debajo de 55 dB; sin embargo, en la actualidad es aplicada a todos los niveles de ruido y usada casi exclusivamente en mediciones que relacionan directamente la respuesta del hombre ante el ruido, desde el punto de vista del daño auditivo y de la molestia.

Las escalas B, C y D se aplican para diferentes rangos del nivel de presión sonora.¹² **Escala de ponderación B:** para sonidos de intensidad media, de entre 55-85 dB, se expresa como dB (B). **Escala de ponderación C:** para sonidos de intensidad alta, arriba de 85 dB, se expresa como dB (C). **Escala de ponderación D:** para sonidos de intensidad muy alta, se expresa como dB (D).

La escala de ponderación B es raramente usada porque no ofrece muchas ventajas sobre la escala de ponderación A. La escala de ponderación C difiere poco de una respuesta lineal en frecuencia por lo que es generalmente usada para medir ruidos impulsivos, tales como una detonación producida por arma de fuego. La escala de ponderación D es usada para medir el ruido de aviones.

¹¹ Linares, op. cit., p.88.

¹² D.A.Bies & C.H. Hansen, op. cit. .p.52.

La tabla 4 muestra los valores de corrección que se deben aplicar a niveles lineales para obtenerlos en ponderación A, B, C y D en las bandas centrales de frecuencias de 1 octava.

Tabla 4. Corrección para ponderación A, B, C y D.

Frecuencia central de bandas de 1 octava (Hz)	Valor de corrección (dB)			
	A	B	C	D
31.5	-39.4	-17.1	-3.0	-16.7
63	-26.2	-9.3	-0.8	-10.9
125	-16.1	-4.2	-0.2	-5.5
250	-8.6	-1.3	0	-1.6
500	-3.2	-0.3	0	-0.3
1000	0	0	0	0
2000	1.2	-0.1	-0.2	7.9
4000	1	-0.7	-0.8	11.1
8000	-1.1	-2.9	-3.0	5.5
16000	-6.6	-8.4	-8.5	-0.7

Ejemplo:

Se midió el ruido en una fábrica, los niveles de presión sonora (NPS) registrados, en bandas de una octava, se muestran en la siguiente tabla. Calcular el nivel de ruido total en ponderación A.

Frecuencia (Hz)	NPS dB (re 20 μ Pa)	Corrección	NPS dB (A)
63	100	-26.2	73.8
125	101	-16.1	84.9
250	97	-8.6	88.4
500	91	-3.2	87.8
1000	90	0	90
2000	88	1.2	89.2
4000	86	1	87
8000	81	-1.1	79.9

Se realiza la suma de niveles como se indicó en el subcapítulo 1.2.4. El NPS total en ponderación A es de 96.18 dB (A).

1.4 Cadena del ruido

Toda situación que involucra la percepción de ruido y la reducción de éste, está formada por tres elementos básicos como se muestra en la figura 24: la fuente sonora, el medio de transmisión y el receptor.

Para cada uno de estos elementos existen métodos para el control del ruido; sin embargo, la acústica de edificios sólo actúa en el camino de propagación de las ondas sonoras y en el tratamiento interior donde se sitúa el receptor, por lo que en esta sección sólo se revisará los tipos de fuentes de ruido y el medio de transmisión.

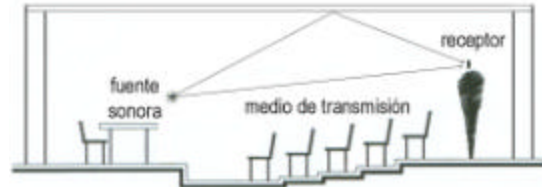


Figura 24. Representación esquemática de la cadena del ruido.

La fuente sonora

Para propósitos de control de ruido es importante conocer dónde, quién y cómo se está generando el ruido, con el objetivo de determinar si lo más adecuado es dar un tratamiento a la fuente sonora para obtener un entorno de ruido aceptable o buscar otras alternativas en el medio de propagación. Existen diferentes tipos de fuentes involucradas en la presencia de ruido en los edificios; por su ubicación, éstas pueden ser exteriores o interiores al edificio.

1. Fuentes de ruido interiores

Estas fuentes son las que están presentes en el interior de un edificio debido a los requerimientos de funcionalidad o uso del recinto y estas son, por ejemplo: la voz humana; ruido provocado al caminar; radio y televisión; aparatos electrodomésticos, instalaciones, etc.

2. Fuentes de ruido exteriores

Son las fuentes de ruido que influyen en el volumen y las fachadas de la edificación. Estas fuentes de ruido en las ciudades son por ejemplo: tránsito vehicular; tránsito aéreo; construcción; actividad industrial; actividades urbanas comunitarias (mercados, venta de productos casa por casa, recolección de basura), escuelas, mascotas, etc.

La importancia de conocer las fuentes de ruido exteriores radica en poder deducir, conociendo con cierto detalle los materiales, las características constructivas de las fachadas y las propiedades acústicas de éstos, si ellas están influyendo en el problema de ruido en el interior de las edificaciones.

En la tabla 5 se muestran el nivel de presión sonora en dB (A) para algunos ejemplos de fuentes sonoras tanto interiores como exteriores, también se muestra la sonoridad asociada a éste nivel y el efecto en la persona.

En la columna que indica el NPS se ha marcado (con negritas) el nivel del que se especifica su sonoridad en la siguiente columna.

El NPS de 40 dB (A) se ha indicado, de manera arbitraria, como el nivel de referencia para definir la sonoridad de los siguientes niveles que incrementan de 10 en 10 dB (A), para con ello facilitar el entendimiento del valor de la sonoridad, (a 1 kHz, un incremento de 10 dB corresponde una respuesta subjetiva del doble de sonoridad).

Tabla 5. Nivel de presión sonora de fuentes sonoras y su respuesta.

Fuente	NPS(dB (A))	Sonoridad	Efecto en la persona
^d Avión en despegue a 100 m.	120	256 veces + ruidoso	Puede haber daño auditivo después de: 28 s. de exposición por día
^c Avión en despegue a 300 m.	109		
^b Martillo neumático	100-110	128 veces + ruidoso	4 min. 43 s. de exposición por día
^a Voz gritando	90-100	64 veces + ruidoso	47 min. 37 s. de exposición por día
^d Estación de metro	95		
^c Vehículos de transporte público	90	32 veces + ruidoso	8 h. de exposición por día
^c Motocicleta, plena aceleración	86		
^a Voz muy alta	75-85		
^d Avión en vuelo a 2 Km.	75-80	16 veces + ruidoso	
^b Vaciado de aparatos sanitarios	75		
^a Voz alta	65-75		
^d Aspiradora a 3 m.	70-75	8 veces + ruidoso	Es difícil la comunicación por teléfono ¹³
^a Voz normal	55-65		
^b Arrastre de muebles	65		
^d Oficina mecanizada	60-65		
^a Televisión nivel medio	60		
^b Mercados	60	4 veces + ruidoso	
^b Pisadas	55		Puede haber molestia ¹⁴
Oficina privada	50	2 veces + ruidoso	Interferencia con la comunicación
^a Voz baja	45-55		
^e Área tranquila suburbana por la noche	40	Nivel de referencia	Tranquilo
^d Susurro a 1 m.	30-35		

Fuentes: ^a Llinares (1996), ^b Recuero (1994), ^c Josse, (1985), ^d De la Colina (2000), ^e Cowan (1994)

El efecto en la persona que se señala en la última columna es considerando un ruido continuo con el nivel de presión sonora que se indica (con letras negritas) en la segunda columna.

Los tiempos de exposición indicados se han calculado de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, *Condiciones de*

seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

El calculo del tiempo de exposición se hace con la siguiente ecuación:

$$T_{ex} = \frac{8}{2^x}$$

¹³ Brüel & Kjaer, *Noise Control*, p2.

¹⁴ Según se especifica en el documento *Guidelines for Community Noise*, OMS, 1993.

donde:

T_{ex} = tiempo de exposición al ruido en horas

$$x = \frac{(L_{eq} - 90)}{N}$$

donde:

L_{eq} = nivel de presión sonora promedio al que se está expuesto.

90 = nivel de presión sonora (en dB (A)) máximo permitido por la norma para una jornada de 8 horas de trabajo.

$N = 3$ (Tasa de intercambio: es la razón de cambio del nivel sonoro "A" para conservar la cantidad de energía acústica recibida por un trabajador, cuando la duración de la exposición se duplica o se reduce a la mitad. La razón de cambio es igual a 3 dB(A)).

Ejemplo:

Calcular el tiempo de exposición a un ambiente ruidoso de 105 dB (A).

Cálculo:

$$x = \frac{(105 - 90)}{3} = 5 \qquad T_{ex} = \frac{8}{2^5} = 0.25 \text{ h}$$

El medio de transmisión

El control del ruido se puede lograr también mediante la reducción de la energía sonora a lo largo de su camino de transmisión, entendido éste como el espacio contenido dentro de un recinto y las superficies que lo limitan.

La energía sonora que genera la fuente se transmite por el aire en todas las direcciones, la reducción de ésta se puede lograr de las siguientes formas:

1. Atenuación de la energía por la distancia recorrida.

En la figura 25 está graficado el nivel de presión sonora contra la distancia, esto ilustra la regla general de que, en campo libre, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB cada vez que se duplica la

distancia desde la fuente. En espacios interiores esta atenuación es menor por el efecto de reflexión de las superficies.



Figura 25. Atenuación del sonido en campo libre por la distancia.

Esta atenuación por la distancia puede ser calculada de la siguiente forma.

Cuando el nivel de presión sonora L_1 a una distancia d_1 , de una fuente sonora es conocido, el nivel de presión sonora L_2 a otra distancia d_2 puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$L_2 = L_1 - 20 \log \frac{d_2}{d_1}$$

Ejemplo: En campo libre, el nivel de presión sonora a 1 metro de la fuente es de 80 dB (figura 26). ¿Cuál será el nivel de presión sonora a 2 metros?

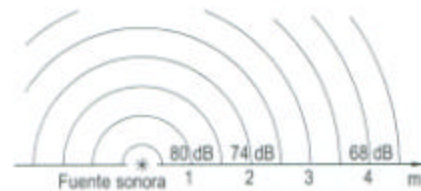


Figura 26. Atenuación del sonido con la distancia.

Sustituyendo valores se obtiene el nivel de presión sonora siguiente:

$$L_2 = 80 - 20 \log \frac{2}{1} = 74 \text{ dB}$$

2. Absorción de energía sonora

La reducción de la energía de las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre las superficies límite, se debe a una absorción producida por:

- a) El aire, la absorción producida en el aire es solamente significativa en recintos de grandes dimensiones, a frecuencias relativamente altas (mayores o iguales a 2kHz) y con porcentajes bajos de humedad relativa (del orden de un 10 a un 30%).¹⁵
- b) Materiales rígidos y no porosos, absorben muy poco el sonido, su efecto es únicamente apreciable cuando no existe ningún material absorbente en el recinto.
- c) Superficies que pueden entrar en vibración, como por ejemplo puertas, ventanas o algún muro divisorio ligero originan una cierta absorción, pero ésta sólo puede llegar a ser mínimamente significativa a bajas frecuencias.
- d) Resonadores, si se requiere obtener una absorción a frecuencias bajas es preciso hacer uso de algún tipo de resonador, los hay tipo diafragmático (figura 27a) y de Helmholtz (figura 27b), estos se pueden colocar sobre determinadas zonas como revestimientos.

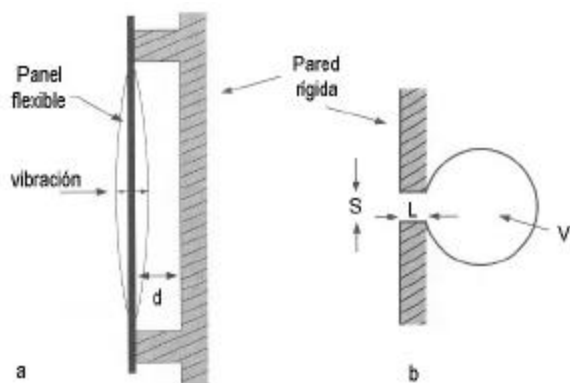


Figura 27. a. Esquema de un resonador diafragmático, b. Esquema de un resonador de Helmholtz.

El resonador diafragmático está formado por un panel de material flexible y no poroso, montado a una cierta distancia (d) de una pared rígida con el propósito de crear una cavidad de aire entre las dos superficies. Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración, la vibración provoca una cierta deformación del material y como consecuencia hay una pérdida de energía sonora que se disipa en forma de calor.

El resonador de Helmholtz está formado por una cavidad cerrada de aire que se comunica con el recinto a través de una abertura o cuello. En la figura 27b el volumen de la cavidad se indica con la letra V, la sección transversal del cuello con S y la longitud con L.¹⁶

- e) Materiales absorbentes, son materiales porosos que se pueden usar para reducir el campo reverberante en espacios ruidosos.¹⁷
- f) Deflexión de la energía. Mediante la reflexión, refracción o difracción de las ondas sonoras.

1.5 Trastornos auditivos

La percepción del sonido es un proceso complicado, de fallar algún mecanismo en el proceso de transmisión del sonido, se provocará una trastorno en la audición llamada *hipoacusia*. La hipoacusia es cualquier pérdida o disminución de la agudeza auditiva; que puede afectar a uno o a ambos oídos y pueden ocurrir en cualquier momento de nuestras vidas, desde la infancia hasta la vejez.

La pérdida auditiva se mide en decibeles para las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz. En la tabla 6 se muestra la clasificación de la pérdida auditiva de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Instituto de la Comunicación Humana (INCH).

Tabla 6. Pérdida auditiva de acuerdo con la OMS e INCH.

Clase	Pérdida (dB)	Clase	Pérdida (dB)
OMS		INCH	
Normal	>20-26	Normal	0-20
Leve	27-40	Superficial	21-40
Moderada	41-55	Media	41-60
Poco severa	56-70	Severa	61-80
Severa	71-90	Profunda	< 81
Profunda	< 90		

¹⁶ Para diseñar resonadores se puede consultar el capítulo 10 de: F. Alton Everest, *The master handbook of Acoustics*.

¹⁷ Vid. Infra. Capítulo 4.

¹⁵ Carrión, op. cit. p.73.

Las causas de la hipoacusia, que pueden afectar al oído son múltiples, por ejemplo: hereditarias y/o congénitas, malformaciones, infecciones como sarampión y meningitis, bajo peso al nacer, ruido, trauma craneal, vértigo, tumores del aparato auditivo y zonas vecinas, enfermedad cerebrovascular, la edad, la diabetes melitus y la insuficiencia renal, entre otros.

Como puede verse, son muchas las causas que pueden provocar un trastorno auditivo, sin embargo, de todos estos los que más interesan aquí son los provocados por la edad y por el ruido. El primero interesa porque podría influir al evaluar el problema de percepción de ruido en una comunidad y el segundo, que se verá más adelante, para tener una referencia en cuanto al daño que puede provocar la exposición a elevados niveles de ruido.

1.5.1. Trastorno auditivo provocado por la edad

La pérdida de audición relacionada con la edad de las personas es conocida como *presbiacusia*. En la figura 28 se muestra el efecto de la presbiacusia, y se indica el rango de frecuencias del habla (voz normal de hombre a 1 metro).

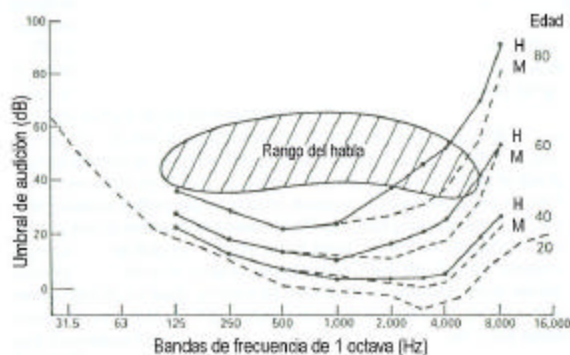


Figura 28. Desplazamiento del umbral auditivo debido a la presbiacusia. H = hombre, M = mujer.

En la figura 28 se observa que a la edad de 20 años (para personas sanas) el umbral auditivo es el mismo para hombres y mujeres, conforme avanza la edad éste umbral se va desplazando hacia arriba; esto significa que los sonidos deben ser de mayor intensidad para poder ser

escuchados. Se observa también que el hombre tiende a perder la sensibilidad auditiva más rápido que la mujer. A la edad de aproximadamente 80 años, el umbral auditivo tanto en el hombre como en la mujer ha llegado al rango del habla, afectando principalmente en las frecuencias altas; esto significa que el mensaje hablado ya no es comprendido en su totalidad.

1.5.2. Trastorno auditivo provocado por el ruido

La pérdida de audición no sólo se debe a la edad avanzada de las personas, sino también puede ser causado por la exposición a ruido excesivo. El principal efecto de la exposición a sonidos de gran intensidad es el daño en el sistema auditivo, manifestado principalmente en la forma de pérdida temporal o permanente de la audición.

La exposición a elevados niveles de ruido durante un período corto de tiempo puede producir una pérdida temporal de la sensibilidad auditiva; que se manifiesta con un zumbido después de la exposición. La recuperación puede tomar varias horas y es gradual cuando la persona permanece en un lugar tranquilo; en este caso, sólo se trata de una fatiga de las células pilosas localizadas en el oído interno (figura 29).



Figura 29. Fotografía de células pilosas sanas.

El daño auditivo permanente puede suceder bajo dos circunstancias, cuando hay una exposición a ruido muy intenso (que puede ser de corta duración) y cuando la exposición a niveles moderados de ruido se repite constantemente. Las principales características del daño auditivo y el ruido que lo origina, son las siguientes:

- a) El daño auditivo en las personas expuestas al ruido ocurre de manera fortuita, debido a que unos individuos son más susceptibles que otros.
- b) El daño auditivo es un proceso acumulativo donde los factores del nivel del ruido y el tiempo de exposición son muy importantes.
- c) A un nivel dado, los ruidos a bajas frecuencias (abajo de 100 Hz) es menos dañino comparado con ruidos en las frecuencias medias (1- 3 kHz).
- d) En una etapa temprana el daño auditivo es más pronunciado en la frecuencia de 4000 Hz, que es la de mayor sensibilidad del oído; pero, conforme el nivel o la exposición se incrementa el daño se amplía a las frecuencias bajas y altas.
- e) La primera discapacidad ocasionada por el daño auditivo, notada por el individuo, es la pérdida de la audición de sonidos de tonos altos como el de las campanas o notas musicales. Esto es seguido de una disminución en la habilidad para entender la palabra.
- f) Cuando las células pilosas están dañadas como se muestra en la figura 30 se dice que el daño es irreversible. Sin embargo, investigaciones recientes estiman que las células pilosas se pueden regenerar.¹⁸



Figura 30. Fotografía de células pilosas dañadas.

En la figura 31¹⁹ se muestran los resultados de un estudio para determinar el porcentaje de riesgo que tiene una persona de desarrollar una discapacidad auditiva al estar sometida a ciertos niveles de ruido en una jornada de trabajo de 8 horas diarias durante 10, 20, 30 y 40 años.

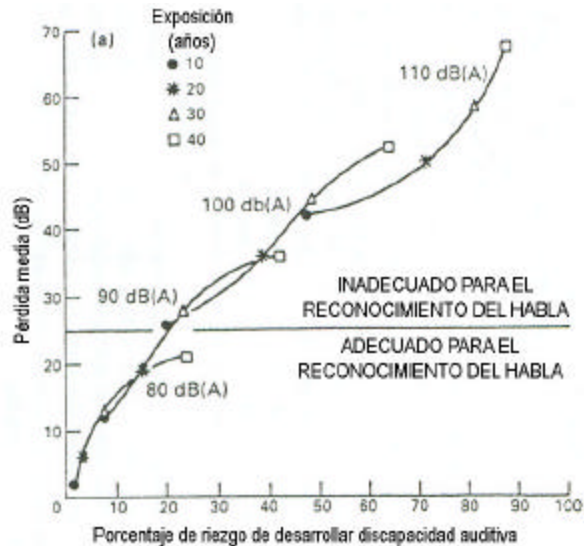


Figura 31. Daño auditivo por la exposición a ruido.

Se observa que una pérdida de 25 dB representa la frontera entre una adecuada e inadecuada sensibilidad acústica para reconocer la voz y ésta se da a partir de una exposición a 90 dB (A).

La curva de 80 dB (A) representa el nivel más bajo que puede provocar daño auditivo atribuido a la exposición de ruido.

1.6 Efectos del ruido en las personas

Los efectos del ruido en las personas son de diferente naturaleza como se observa en la tabla 7. Estos efectos se han estudiado en diferentes contextos y circunstancias, las primeras investigaciones se centraron en el efecto fisiológico y en concreto en el daño auditivo. Posteriormente se han estudiado los efectos psicológicos y otros efectos en personas expuestas a niveles de ruido que no conducen a un daño fisiológico.

Para fines de este trabajo de investigación el efecto psicológico de la molestia es el que más interesa; de los otros efectos el que interesa es la interferencia con la comunicación, éste último se analizará en el capítulo 5.

¹⁸ Felipe García Pedroza, *Los trastornos auditivos como problema de salud pública en México*, An ORL Méx., 2003, 48 (1), 20-29.

¹⁹ D.A. Bies y C.H. Hansen, op. cit. Apud. Beranek 1971, Burns & Robinson 1970.

Tabla 7. Efectos del ruido en las personas²⁰

Categoría	Efecto
Fisiológica	Daño auditivo
	Hipertensión
	Enfermedades cardiacas
	Úlceras
	Colitis
	Nauseas
	Dolor de cabeza
	Vértigo
	Salud mental
	Insomnio
Sicológica	Miedo
	Molestia
	Estrés
	Comportamiento social
Otra	Interferencia con la comunicación
	Trastornos del sueño
	Falta de concentración
	Pérdida de rendimiento
	Falta de privacidad

Molestia

Los efectos no auditivos son generados por niveles de ruido más bajos que los que provocan un daño auditivo; sin embargo son más complejos de estudiar y por lo tanto menos conocidos.

Entre estos efectos se encuentra el de la molestia, este efecto es personal; la variabilidad interindividual de las molestias expresadas ante un mismo ruido es grande, los factores que la explican son: la edad, género, cultura, situación social, estado físico y mental y las características de la actividad que se está realizando.^{21, 22}

Las características de interpretación de la audición se expresan en términos de parámetros subjetivos, que han sido determinados por experimentos que llevan a predicciones estadísticas de los juicios subjetivos de personas expuestas bajo ciertas condiciones conocidas. Sin embargo, la magnitud de la molestia depende de la interacción de factores acústicos y no acústicos como los que se muestra en la tabla 8.

²⁰ James P. Cowan, *Environmental Acoustics*, p. 43.

²¹ C. Lévy-Leboyer, *Psicología y medio ambiente*, p.113.

²² Sarah Hosking y Liz Haggard, *Healing the hospital environment*, p.163.

Tabla 8. Factores que contribuyen a la molestia causada por ruido²³

Factores acústicos	Factores no acústicos
Nivel de presión sonora	Hora del día
Espectro	Época del año
Duración	Necesidad de ruido
Contenido de tonos puros	Actitud de la persona
Carácter impulsivo	Experiencias previas
Fluctuación del nivel	Control sobre el ruido
	Actividades realizadas

Conforme el nivel de ruido se incrementa, éste es acompañado por un incremento aparente de sonoridad. Se puede considerar que la sonoridad es la evaluación subjetiva de la intensidad de un ruido cuando su evaluación se hace considerando su presión acústica y desvinculando factores emocionales que pueden afectar la valoración de la molestia del ruido.

En promedio; entre más grande sea esta sonoridad, más grande será la interferencia con la comunicación hablada, con la concentración mental, con el desempeño de las tareas, con las actividades de recreación, entre otras, y por lo tanto más grande será la molestia. Aunque la sonoridad es muy importante para determinar la molestia causada por el ruido hay otros factores no acústicos que también son importantes, por ejemplo, se han realizado estudios en laboratorio donde se le pide a varias personas que evalúe sonidos de igual duración en términos de su ruidosidad o inaceptabilidad²⁴.

Se han producido curvas del índice de igual nivel de ruidosidad, que son similares a las de sonoridad, excepto que a altas frecuencias se requiere menos energía sonora para producir igual ruidosidad y a bajas frecuencias se requiere más. Con este índice se determina el *nivel de ruido percibido* (PNL, de Perceived Noise Level). Sin embargo se ha cuestionado la funcionalidad de este procedimiento debido a que las personas evaluadas en laboratorio no son capaces de distinguir entre sonoridad, ruidosidad y molestia.

²³ Malcom J. Crocker (editor), *Handbook of Acoustics*, p.776.

²⁴ *Ibidem*.

El efecto del ruido ambiental sobre la molestia se puede evaluar con cuestionarios o estudios del trastorno de actividades específicas. No obstante, se debe reconocer que niveles similares de ruido provenientes de diferentes fuentes pueden causar diferentes grados de molestia; esto se debe a que la molestia en las personas varía no sólo con las características del ruido, sino que depende en gran medida de factores no acústicos.

Parece seguro decir que cualquier sonido estimado como intenso, nivel de presión sonora de 90 dB o más alto para tonos puros y 75 dB o más para ruidos puede llegar a ser "altamente molesto" para el promedio de personas, si éste es lo suficientemente prolongado.²⁵

En el documento de la OMS, guías para ruido ambiental de 1999, se establecen valores que evalúan la molestia que causa el ruido a la mayoría de la población adulta. Para un nivel de ruido de 50 dB (A) la gente será moderadamente molesta y para 55 dB (A), será seriamente molesta

Al elegir un nivel para evaluar la molestia, como los mostrados arriba, se debe tener presente que éstos se obtuvieron de experimentos usando estímulos, y condiciones particulares.

Actualmente no existe consenso sobre un modelo para evaluar la molestia debido a la combinación de fuentes de ruido ambiental. El grado de molestia es expresado sólo en términos de una fracción de un conjunto de personas que es "altamente molesta" por el ruido que se está analizando.

Existen diferentes descriptores de ruido (algunos de éstos usados para describir ruido de fuentes interiores y/o exteriores) basados principalmente en esta escala ponderada o en escala lineal, los cuales difieren únicamente en la manera en que se trata la variación temporal del nivel, algunos de estos son los que a continuación se describen.

1.7 Criterios para evaluar el ruido

La evaluación del ruido en los edificios ha tenido un gran desarrollo histórico; a lo largo de varias décadas se ha tratado de encontrar valores que relacionen la respuesta subjetiva de las personas con alguna propiedad física del sonido. Han surgido varios criterios que establecen valores máximos admitidos de ruido de acuerdo al género de edificio o actividad que se desarrolla en éste. Estos criterios son de ayuda para garantizar una reducción de la molestia, menos interferencia con la comunicación y con el sueño.

1.7.1 Nivel de sonido ponderado A

Es la guía más simple para especificar los niveles máximos de ruido recomendado en espacios interiores, esta ponderación compensa las diferencias de sensibilidad del oído humano y hay una buena correlación con la respuesta subjetiva de las personas ante el ruido. En la tabla 9 se muestra una escala subjetiva para diferentes niveles de presión sonora, se presenta sólo para tomarla como guía de lo que un ambiente, con cierto nivel sonoro, puede representar para un individuo.

Tabla 9. Respuesta subjetiva a diferentes sonoros. ²⁶.

NPS dB (A)	ambiente
25-35	Muy tranquilo
35-45	Tranquilo
45-55	Moderadamente ruidoso
55-65	Ruidoso
65-70	Muy ruidoso

Estos valores deben considerarse con precaución debido a que se ha encontrado que hay diferencias en la tolerancia al ruido de un clima a otro. "La gente en los países donde es costumbre que las ventanas estén abiertas la mayor parte del año parece ser más tolerante al ruido, de 5-10 dB (A), que la gente en países donde se acostumbra que las ventanas se cierren herméticamente la mayoría del año."²⁷

²⁵ Ibidem p. 1200.

²⁶ D.A.Bies & C.H. Hansen, op. cit., p. 89.

²⁷ Ibidem.

1.7.2 Descriptores del ruido

Integrales

Estos descriptores constituyen una medida de la presión sonora que integra la energía sonora en un periodo de tiempo. Los descriptores más usados de éste tipo son:

a) Nivel de sonido continuo equivalente (L_{eq})

Es el nivel de presión sonora promediado en un período de tiempo, usualmente expresado en dB (A). El tiempo promediado puede ser especificado como mejor convenga, en segundos, minutos u horas.

Se ha encontrado que el L_{Aeq} está bien correlacionado con los efectos psicológicos del ruido.²⁸ Aunque es inadecuado su uso en algunas circunstancias, por ejemplo, cuando ocurren eventos (ocasionales) de nivel muy alto de ruido y de corta duración. La energía sonora de estos eventos se promedia con la de los otros niveles, como se muestra en la figura 32, y el L_{Aeq} resultante puede desestimar la molestia debida a tales eventos.

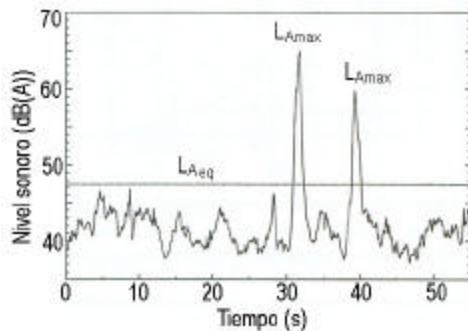


Figura 32. Eventos de ruido y L_{Aeq}

b) Nivel de sonido equivalente día-noche (L_{dn})

Es el nivel de sonido definido como el L_{eq} de 24 horas continuas con una adición de 10 dB a todas las señales grabadas entre las 10:00 p.m. y las 7:00 a.m. debido a que durante la noche las personas tienen mayor sensibilidad al ruido.

Estadísticos

Este tipo de descriptores se usan principalmente para mostrar niveles sonoros que varían con el tiempo, como se ilustra en la figura 32.

Estos descriptores dan la medida del porcentaje de tiempo que el nivel de presión sonora (usualmente expresado en dB (A)) está por arriba de un determinado nivel durante el tiempo de muestreo. Se designan con el símbolo L_n , donde n es cualquier número entre 0 y 100 que corresponde a dicho porcentaje. Por ejemplo: $L_{10} = 66$ dB (A) significa que el nivel de presión sonora medido excedió 66 dB (A) el 10% del tiempo de medición (figura 33).

Los más comunes son L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} y L_{99} (los niveles excedidos el 1, 10, 50, 90 y 99% del tiempo, respectivamente). El L_1 es usado generalmente como representativo del nivel máximo de presión (cuando las lecturas son de una hora o menos de duración). El L_{50} es usado generalmente como indicador del nivel sonoro promedio. El L_{90} es usado generalmente como indicador del nivel de ruido de fondo.

Los valores de L_n pueden ser determinados a partir de la distribución acumulativa de los niveles de ruido, como se muestra en la figura 33.

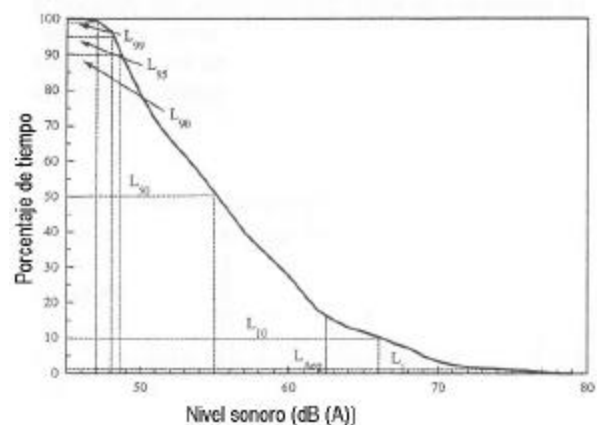


Figura 33. Distribución acumulativa de niveles de ruido.

²⁸ Crocker, op. cit., p.785

El nivel de presión sonora en ponderación A, por sí sólo es insuficiente para el estudio del ruido en un recinto porque no da indicación de cuáles partes del espectro del ruido en frecuencia están interviniendo por ello, en algunos casos es conveniente usar las curvas de valoración de ruido.

1.7.3 Curvas de valoración del ruido

Otro método para evaluar el ruido en los edificios y que es conveniente para propósitos de acondicionamiento acústico es el uso de las llamadas *curvas de valoración de ruido*; las cuales son utilizadas para especificar los niveles de presión sonora máximos en los recintos. Estas curvas definen un espectro en bandas de frecuencia de 1 octava y cada una se define en términos de un sólo número.

Las curvas de valoración de ruido han sufrido una evolución paralelamente al desarrollo de instrumentos de medición, principalmente de los que permiten hacer un análisis en bandas de frecuencia, debido a que han ayudado a entender el impacto del ruido en la audición y comunicación. Algunas de estas curvas ya no están en uso; sin embargo es necesario conocerlas porque han sido incluidas en normas o algunos resultados de estudios sobre el ruido han sido reportados haciendo referencia a algunas de éstas. A continuación se da una breve explicación de las que han sido más usadas y de las que están actualmente en uso.

Curvas de valoración NC (Noise Criteria)

Estas curvas fueron diseñadas por Beranek y publicadas en 1957, en 1968 fueron adecuadas por Schultz a las nuevas bandas de octava. Las curvas se diseñaron con base en datos de niveles de interferencia con la comunicación que se encontraron como aceptables en oficinas, espacios públicos e industriales, donde la mayor contribución del ruido a la molestia era la interferencia con la comunicación verbal, provocada por el sonido continuo de sistemas mecánicos y sonido transmitido del exterior.

Para evaluar el nivel de presión sonora de un espectro con las curvas NC se utiliza el método tangencial, este consiste en medir el NPS del ruido en bandas de una octava y colocarlo sobre la familia de curvas NC (figura 34), el espectro dibujado es designado con el valor de la curva más alta que sea tocada por éste. El valor numérico de las curvas representa el promedio aritmético de los niveles en las bandas de 500 a 8000 Hz.

El amplio uso de estas curvas se debe a la publicación hecha por *the American Society of Heating, Ventilating, and Airconditioning Engineers* (ASHRAE). Actualmente siguen siendo ampliamente usadas para evaluar el ruido en recintos porque permiten una comunicación hablada satisfactoria.

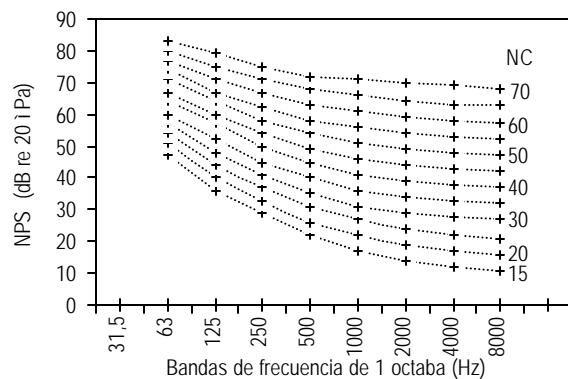


Figura 34. Curvas de valoración NC ²⁹

Curvas de valoración PNC (Preferred Noise Criteria)

Beranek, Blazier, y Figwer, hicieron modificaciones a las curvas NC que dieron lugar en 1971 a las PNC. Estas se extienden desde 31.5 Hz hasta 8 kHz (figura 35). El valor numérico de las curvas representa el nivel en la banda de 1 kHz. Son más exigentes en bajas frecuencias, lo que implica un control de ruido más extenso y generalmente más costoso que el que se requiere usando las NC. ³⁰

²⁹ Los valores numéricos de estas curvas se obtuvieron de Manuel Recuero, *Acústica Arquitectónica Aplicada*, p.125.

³⁰ Gregory C. Tocci, *Room Noise Criteria*, p.109.

Algunos consultores expertos encontraron que los límites a bajas frecuencias eran muy exigentes e innecesario en muchos casos. Aunado a esto; las curvas no fueron incorporadas en normas o guías en los Estados Unidos de América, por tales razones nunca fueron ampliamente aceptadas.

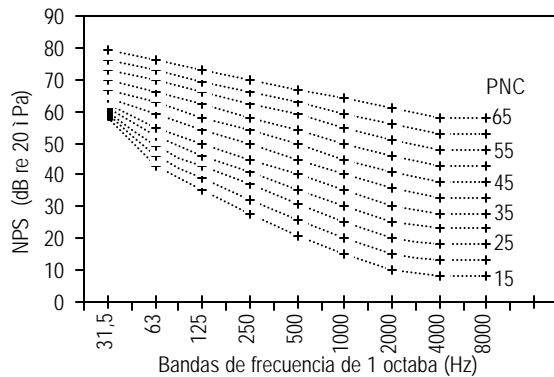


Figura 35. Curvas de valoración PNC ³¹

Curvas de valoración RC (Room Criteria)

En 1981, ASHRAE financió un programa de investigación dirigido por Blazier, en el cual se estudió el nivel de ruido de fondo en 68 oficinas desocupadas. Los resultados mostraron que el espectro del ruido más tolerado era casi una línea recta con un cambio de -5 dB/banda de octava y los niveles de presión sonora estuvieron principalmente en el rango de 40 a 50 dB (A).

Con base en esta información Blazier desarrollo las curvas RC (figura 36), y agregó dos regiones en bajas frecuencias. Los ruidos a bajas frecuencias y con un nivel de 75 dB o más, región A, son comúnmente causa de vibraciones mecánicas en edificios modernos de poco peso. El ruido en la región B tiene pocas probabilidades de causar vibración. El valor numérico de una curva RC en particular, es el promedio aritmético del nivel en las bandas de 500 Hz, 1 kHz, y 2 kHz.

Generalmente se considera que estas curvas permiten mucho ruido en las frecuencias altas (en y arriba de 2 kHz).³²

Debido a que estas curvas fueron obtenidas de mediciones hechas sólo con ruido del sistema de aire acondicionado, son usadas principalmente para evaluar el ruido de tales sistemas. Estas no toman en consideración las características de audición de la persona.

Las curvas RC y el método para evaluar el ruido en un recinto con éstas, son definidos por The American National Standard Institute en "Criteria for Evaluating Room Noise", ANSI S12.2-1995

"...las curvas RC se generaron sólo para usarlas en espacios de oficinas. Se requiere de un conjunto de curvas más completo para otros espacios tales como salas de conciertos, estudios de grabación, auditorios, fábricas, etcétera."³³

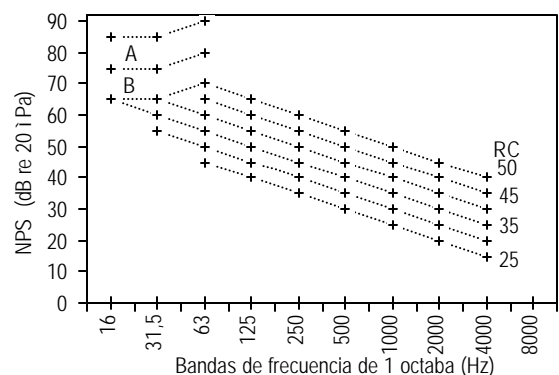


Figura 36. Curvas de valoración RC.

Curvas de valoración NCB (Balanced Noise Criterion)

En 1989 Beranek modificó las curvas NC debido a que originalmente se pensaba que un espectro en banda de octava que generalmente seguía la forma de una curva NC podría ser percibida como igualmente balanceado en energía en bajas, medias y altas frecuencias. Sin embargo esto no era así, por lo que se desarrollaron las curvas NCB (figura 37). Estas se aplican al ruido total en un recinto con actividades normales de oficina y con sistemas mecánicos operando.³⁴

³¹ Los valores numéricos de estas curvas se obtuvieron de la norma mexicana NMX-C-207-1977

³² Crocker op-cit. p. 782.

³³ Leo L. Beranek, *Noise and Vibration Control Engineering*, p.630.

³⁴ *Ibidem.*, p. 627

Se extienden desde la banda de 16 Hz hasta la de 8 kHz, entre las bandas de 500 Hz y 8 kHz hay un cambio de -3.33 dB/banda de octava, se incluyen dos zonas para bajas frecuencias como lo hizo Blazier con las curvas RC. El valor numérico de estas curvas representa el promedio aritmético de los niveles en las bandas de 500, 1000, 2000, y 4000 Hz.

Las curvas NCB y el método para evaluar el ruido en un recinto con éstas, son definidos por The American National Standard Institute en "Criteria for Evaluating Room Noise", ANSI S12.2-1995.

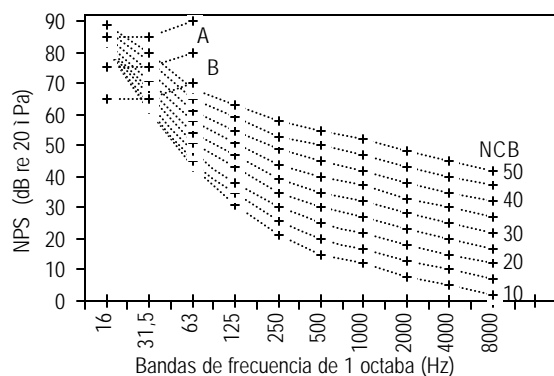


Figura 37. Curvas de valoración NCB

Curvas de valoración RC Mark II (Room Criteria Mark II)

Estas curvas fueron desarrolladas por Blazier, y publicadas en 1997, son casi idénticas a las curvas RC; sin embargo, el método que usa para determinar la calidad sonora de un espectro es diferente. Estas curvas son líneas horizontales en las frecuencias de 31.5 y 16 Hz debido a que Blazier consideró que las curvas RC no eran lo suficientemente estrictas en estas frecuencias. El valor numérico de las curvas representa el promedio aritmético de los niveles en las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz.

Curvas de valoración RNC (Room Noise Criteria)

Las curvas RNC representan un promedio de las curvas NCB y RC. Estas curvas han sido desarrolladas para que, con el método tangencial, se pueda evaluar el espectro del ruido en un recinto, este método fue publicado en el año 2000.

Se ha descrito esta serie de curvas con el propósito de mostrar que los métodos para evaluar el ruido han tenido una larga historia y un avance paralelo al desarrollo de la tecnología de medición, unos métodos han ido sustituyendo a otros, los dos últimos tipos de curvas están actualmente en estudio para conocer su eficacia por lo que la información de éstas es escasa. No es el propósito explicar el uso de cada una de estas curvas porque algunas de ellas están ya en desuso. En el capítulo 3 se hace un análisis de ruido basado en las curvas NCB y se explica el uso de éstas.

1.8 Especificación del nivel de ruido ambiental en un recinto

El ser humano está expuesto al ruido en los espacios donde desarrolla sus actividades de trabajo, entretenimiento, educación, entre otras. El objetivo del control del ruido en un recinto, es establecer condiciones acústicas adecuadas al uso particular y actividad de sus ocupantes. Para lograrlo se debe cumplir con requerimientos de niveles máximos recomendables de ruido ambiental. Estos niveles se han establecido como normas en diferentes países, recomendaciones de organismos internacionales y como sugerencias de investigadores publicadas en la literatura sobre el tema; sin embargo, para un mismo tipo de espacio la especificación del nivel puede variar entre una fuente de información y otra.

El nivel de ruido deseado para cada espacio es especificado, generalmente, basándose en algún tipo de curvas de valoración del ruido o utilizando el nivel de sonido en ponderación (A). Es importante considerar que los estudios para determinar estas curvas se realizaron en países de Europa y Estados Unidos, por lo que al aplicarlas a un caso concreto en nuestra población se debe hacer con cierto cuidado.

En la tabla 10 se muestran los niveles de ruido recomendados y máximos permitidos, establecidos en normas y recomendaciones, para diferentes tipos de espacios.

La primera columna muestra los niveles, en dB (A), para ruido continuo en los espacios, establecidos en la Norma Australiana 2107-1977. El valor mayor muestra el nivel máximo aceptable y el menor es el nivel deseable. La segunda columna indica los niveles aceptables de ruido establecidos por The American National Standard Institute en "Criteria for Evaluating Room Noise", ANSI S12.2-1995, determinados mediante el uso de las curvas NCB.

En la tercera columna se observan los máximos niveles de ruido que se especifican en la norma mexicana NMX-C-207-1977 "Criterios de ruido según la función de los claustros". Se indica el nivel mediante las curvas PNC y su equivalencia en dB (A). En la cuarta columna se muestran márgenes de niveles de ruido aceptables producidos por sistemas de aire acondicionado, definidos con curvas NC. Estos valores son recomendaciones de Manuel Recuero (1994).

Tabla 10. Niveles sonoros recomendados para diferentes espacios

Tipo de espacio/actividad	N. Australia 2107-1977 ³⁵	ANSI S12.2-1995 ³⁶	NMX-C- 207-1977		Manuel Recuero ³⁷
	dB (A)	NCB	PNC	dB (A) ³⁸	NC
1. ESPACIOS PARA LA EDUCACIÓN					
Salones:			40	47	30-40
- secundaria "espacio abierto" áreas de enseñanza	35-40	33-37			
- primaria "espacio abierto" áreas de enseñanza	40-45	33-37			
Corredores y vestíbulos	45-50				35-50
Gimnasio	45-55		55	61	
Laboratorios:					35-45
- enseñanza	35-40				
- prácticas	40-50				
Conferencia, enseñanza	35-40	25-30			
Auditorios/salas de asamblea:					
- hasta 250 asientos	30-35				
- más de 250 asientos	25-30				
Talleres mecánicos	45-55				
Talleres de artes manuales	40-45				
Oficinas administrativas	35-40				
2. EDIFICIOS PARA LA SALUD					
Corredores y vestíbulos	40-50	33-43			35-45
Clínicas dentales y consultorios	40-45		35	42	
Cocinas, esterilización y áreas de servicio	45-50				40-50
Áreas de oficina	40-45				
Quirófanos	30-35	25-30	30	38	30-40
Hospitalización:		25-30	30	38	25-35
- una cama	30-35				
- dos o más camas	35-40				
Recepción	40-50		55	61	
Salas de espera	40-50		50	56	
Áreas públicas		38-43			
3. COMERCIOS					
Tiendas		50-60	45	52	
- departamentales, piso principal	50-55				40-50
- departamentales, pisos superiores	45-55				35-45
Supermercados	50-55				40-50
Mercados			65	70	

³⁵ D.A.Bies & C.H. Hansen, op. cit., p. 81.

³⁶ <http://www.acoustics.com/nc.asp>

³⁷ Recuero, op. cit. p. 130.

³⁸ La norma específica que esta equivalencia es válida si el espectro del ruido tiene forma similar a las curvas PNC.

Tabla 10. Niveles sonoros recomendados para diferentes espacios, (continuación)

Tipo de espacio/actividad	N. Australia 2107-1977	ANSI S12.2-1995	NMX-C- 207-1977		Manuel Recuero
	dB (A)	NCB	PNC	dB (A)	NC
4. EDIFICIOS PARA LA INDUSTRIA					
Líneas de ensamble:			65	70	
- maquinaria ligera	50-70				
- empaquetado y entrega	50-60				
Oficinas de gerentes	45-50		40	47	
Laboratorios o áreas de pruebas	40-50				
Comedor y salas de descanso	40-55		45	52	
Ensamble de precisión	40-50				
5. EDIFICIOS RESIDENCIALES					
Vivienda privada (urbana)			40	47	25-35
- áreas de recreación	35-40	28-38			
- áreas para dormir	30-35	25-30			
- áreas de trabajo	35-40				
Hoteles y moteles:					
- áreas para dormir	30-35	28-33	35	42	30-40
- cocinas, lavanderías y mantenimiento	45-55	38-48	60	66	40-50
- áreas de recreación	45-50		45	52	
- áreas para conferencias	30-35	25-35			
6. EDIFICIOS PÚBLICOS					
Terminales aéreas:			55	61	
- área de registro	45-50				
- área de embarque	45-60				
Galerías de arte	40-50				
Salas de conciertos, recitales y opera	25-35	10-15			20-25
Teatros	25-35	15-20			20-25
Cines	30-40	27-37			30-35
Lugares para orar:			40	47	20-30
- hasta 250 personas	30-35	15-20			
- más de 250 personas	25-30				
Bibliotecas:		33-37	35	42	30-40
- área administrativa	35-40				
- área de lectura	40-45				
- área de estantes	45-50				
Museos (área de exhibición)	35-45		40	47	30-40
Terminales de autobuses:			55	61	
- venta de boletos	45-55				
- áreas de espera	45-60				
Restaurantes	40-45	38-43			35-45
Cafeterías	45-55				35-50
7. EDIFICIOS DE OFICINAS					
Salas de reuniones y conferencias	30-35	25-30	40	47	25-35
Cafeterías	45-50				
Contabilidad	45-55	38-43			
Corredores y vestíbulos	45-50				
Áreas de oficinas generales	40-45				30-45
Oficinas privadas	35-40	30-35	40	47	30-40
Espacios públicos	40-50	38-48			35-55
Áreas de recepción	40-45	38-43	45	52	
Salas de descanso	40-45				

Arquitectura sanitaria en México

2.1 Introducción

Actualmente el sistema de salud del sector social se enfrenta a diversos problemas, uno de ellos es la adecuación de la infraestructura existente para dar atención a un mayor número de usuarios del que se planeó originalmente. Ante esta situación se está buscando optimizar los recursos implementando programas para mejorar la calidad de la atención y brindar un mejor servicio al usuario. Los programas para mejorar la calidad en las unidades médicas se han enfocado principalmente en el aspecto de la atención al usuario y se ha dado menos importancia al espacio donde se recibe dicha atención.

En este capítulo se verá cómo está conformado el sistema de salud, en qué consiste la calidad de la atención médica y se revisarán algunas normas relacionadas con el tema de estudio: salas de espera de unidades médicas y el ruido en las mismas.

2.2 El sistema de salud

El sistema de seguridad social, entendido como el conjunto de servicios destinados a asegurar condiciones de vida estables y fisiológicamente satisfactorias para los ciudadanos¹ y que incluye un amplio conjunto de programas entre los que se encuentra el de salud, surgió en México como consecuencia de diversos acontecimientos económicos, políticos y sociales ocurridos desde

¹ Agustín Márquez Sámano, *Evaluación comparativa de los servicios médicos que proporcionan las tres principales instituciones de Seguridad Social en el D.F.*, p.6.

la Independencia del país hasta 1917, fecha en que por decreto constitucional se consideró a estos servicios como un derecho de todo individuo.

En 1937 se creó la Secretaría de Asistencia; la cual, en 1943 se fusionó con el Departamento de Salubridad para constituir la Secretaría de Salubridad y Asistencia, actualmente lleva el nombre de Secretaría de Salud y es el organismo encargado de la regulación sanitaria nacional.

A partir del año 1982 el país cuenta con un Plan Nacional de Salud, donde se marcan los lineamientos que deben observar todas las instituciones que prestan servicios de salud; cabe destacar de este plan los siguientes tres aspectos:

1. La Secretaría de Salud es el organismo encargado de coordinar los programas del sector salud que está integrado por todas las entidades e instituciones que desarrollan funciones en la materia.
2. Se establecen tres niveles de atención que todo organismo que proporcione servicios de salud tiene que respetar (figura 1).

a) Primer nivel de atención

Es aquel en el que los usuarios utilizan el servicio por corta duración debido a que sus problemas de salud no son complicados. En el caso del IMSS y del ISSSTE esta prestación se otorga principalmente en las Unidades de Medicina familiar (UMF), donde predominan los consultorios de medicina general.

b) Segundo nivel de atención

Corresponde al conjunto de recursos necesarios para resolver los problemas de salud poco frecuentes y complejos, la mayoría de los consultorios son de especialidades; comprende también servicios hospitalarios de medicina interna, cirugía general, gineco obstetricia y pediatría; los usuarios son referidos en su mayoría por el primer nivel de atención. A este nivel de atención pertenece el hospital general del IMSS y la clínica hospital del ISSSTE.

c) Tercer nivel de atención

Es aquel que asiste a usuarios referidos de los niveles inferiores; con problemas de salud poco frecuentes y muy complejos que requieren de tecnología sofisticada y personal altamente calificado, los consultorios son exclusivamente de especialidades. A este nivel de atención pertenece el centro médico regional y nacional y el hospital de alta especialidad del IMSS, el hospital general y regional y centro médico nacional del ISSSTE.

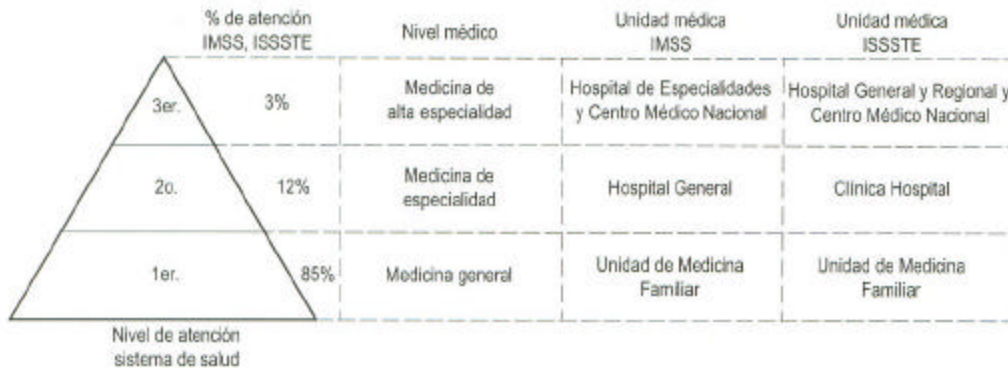


Figura 1. Sistema nacional de atención médica (IMSS e ISSSTE).

3. Se organizan tres sectores perfectamente definidos por sus características de operatividad.

a) El sector Privado

Agrupa las instituciones privadas formadas por individuos o sociedades que, como negocio ofrecen servicios de salud en los tres niveles de atención; aunque el tercero con ciertas limitaciones.

b) El sector de Asistencia Social

Este sector lo conforman organismos que proporcionan servicios de salud a la población que no está asegurada y que se denomina población abierta, estos servicios abarcan los tres niveles de atención y la salud pública (prevención y control de enfermedades).

c) El sector de Seguridad Social

Agrupa a todos los organismos que dan servicio de salud a trabajadores. Entre estos se encuentran el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los trabajadores del Estado (ISSSTE), PEMEX y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para las Fuerzas Armadas.

2.3 La arquitectura sanitaria

En los primeros años del siglo XX la arquitectura de la salud se rigió por el partido arquitectónico que consistía en un conjunto de pabellones, donde se atendían diversas especialidades. En una siguiente etapa, ésta arquitectura estuvo influenciada por el partido vertical surgido en los Estados Unidos de Norteamérica.

A partir de la década de los años cuarenta se inicia la construcción de una amplia infraestructura de edificios para proporcionar los servicios de salud. En un principio esta infraestructura estuvo exclusivamente a cargo de la Secretaría de Salud y Asistencia, más tarde se empezó a realizar por los Institutos de Seguridad Social.

Con esta infraestructura se empezó a crear una arquitectura para la salud adecuada a las condiciones del país, "...los arquitectos adoptaron un criterio racionalista que los llevó a una expresión clara, tanto del funcionamiento de los edificios como de las condiciones que intervenían en el proyecto, por ejemplo: clima, sistema constructivo y escasos recursos económicos"². Los criterios y normas fundamentales para la planeación de esta nueva arquitectura fueron realizados por arquitectos y médicos en el Seminario de Arquitectura Nosocomial realizado en 1942.

"En un principio se siguió el procedimiento de *acierto y error* y posteriormente, mediante evaluaciones periódicas y aplicación de normas de planeación, diseño y operación, se fue creando el "sistema mexicano de hospitales", bajo los tres siguientes conceptos:

- a) una mejor calidad de atención médica;
- b) mejores condiciones de confort para pacientes y personal operativo;
- c) optimización de recursos económicos, con una mejor eficiencia operativa y ampliación de la cobertura nacional".³

Cuando se dispuso de recursos económicos en nuestro país se logró un desarrollo notable en las instituciones de salud del sector social, que se manifestó a través de la construcción de múltiples espacios para la atención de la salud. Esta cobertura fue, en términos generales, satisfactoria

durante algún tiempo; sin embargo, a partir de la década de los ochenta este crecimiento se vio frenado por una crisis económica que todavía persiste en nuestro país.

Actualmente se ha dejado de construir a gran escala, generándose así, rezagos en la infraestructura; aunado a esto, "alrededor de 20 mil inmuebles que conforman el sistema hospitalario del país empiezan a tener problemas *delicados* en su infraestructura, ya que una buena parte de éstos tiene una edad promedio de entre 35 y 40 años sin que exista hasta ahora un plan maestro general para darles mantenimiento [...]"⁴

"...el IMSS ha dejado de construir de acuerdo con la demanda de sus derechohabientes; en cambio, se ha dedicado a improvisar espacios, en un intento por hacer que la infraestructura existente cubra la creciente demanda y lo peor es que también se ha constreñido la inversión en mantenimiento de inmuebles [...]"⁵

"...por lo que hace al segundo y tercer nivel de atención (en el ISSSTE), están siendo sujetos a un reordenamiento de sus servicios y a una readaptación de sus instalaciones que, sin expandir la infraestructura física, se incremente la capacidad, optimizando las áreas de atención..."⁶

En este momento el sector salud se enfrenta a diversos problemas; entre estos, el de la escasez de recursos económicos, se requiere una mayor cobertura por el incremento de la población y la demanda de mejores servicios por parte de los usuarios. Ante esta situación se están implementando programas que conlleven a otorgar servicios con *calidad*, con el objetivo de optimizar los recursos y obtener la satisfacción del usuario.

² Enrique Yáñez, *Hospitales de seguridad social*, p. 14

³ Guillermo Ortiz Flores, *Evolución histórica conceptual de los hospitales de México en el presente siglo*, El hospital del futuro, III Congreso internacional, 1996.

⁴ Boletín No. 084, 9 de abril de 2003, UAM.

⁵ Langagne, op-cit., p.13

⁶ Manuel Aguilera G. *El hospital del futuro. Un pivote para la modernización integral de los servicios de salud*, El hospital del futuro, III Congreso internacional, 1996.

2.4 Calidad de la atención médica

Avedis Donabedian⁷, quien ha sido considerado como un experto mundial en el estudio de la calidad de la atención médica, se refiere a ella de esta forma: "en su esencia, *calidad* significa conformidad con *normas*."

En nuestro país la implementación de la calidad en la atención médica tiene como antecedentes un gran número de investigaciones realizadas desde finales de la década de los cincuenta, cuando el IMSS inició programas de evaluación de la calidad de la atención. A partir de entonces se empezaron a constituir líneas de investigación que incluyen el estudio de los aspectos que afectan la calidad de la atención médica y los procedimientos para su evaluación, con el objetivo de generar metodologías para lograr la calidad en el sector salud. Sin embargo, no se realizaban programas oficiales de aplicación general y en forma permanente para garantizar dicha calidad.

Fue hasta 1982 cuando la Secretaría de Salud pronunció de manera explícita la necesidad de mejorar la calidad de los servicios. A partir de ese año se incorporan nuevos proyectos de investigación, que junto con los que se venían realizando, se enfocan en buscar una propuesta de metodología que permita establecer y evaluar los diferentes aspectos relacionados con la calidad de la atención en las unidades médicas, todo ello con el propósito de lograr el reconocimiento en este aspecto a través de la *certificación*.

La certificación es un proceso por el cual, una organización con autoridad para ello, garantiza que un proveedor de servicios de salud cumple de manera satisfactoria, una serie de *requisitos* para generar los mejores resultados para el paciente.

⁷ Profesor emérito de la Universidad de Michigan, USA, miembro del Instituto de Ciencias de Estados Unidos y Miembro Honorario de la Academia Nacional de Medicina de México.

En la reforma del Sistema Nacional de Salud de 1995-2000 se incluyeron programas dirigidos al mejoramiento de la calidad de la atención y a instancias del Dr. Juan Ramón de la Fuente (entonces Secretario de Salud), el Consejo de Salubridad General de la Secretaría de Salud inició acciones que impulsaron la certificación de hospitales. El 8 de marzo de 1999 se facultó a este Consejo instrumentar las bases para el Programa Nacional de Certificación de Hospitales y en abril del mismo año se creó la Comisión Nacional de Certificación de Hospitales, cuya misión es certificar a hospitales que garanticen una atención médica de calidad, conforme a los criterios marcados por la propia comisión. En el año 2002 la comisión para la certificación de hospitales reestructuró el programa y se estableció un nuevo acuerdo que permite incorporar al proceso de certificación a todas las unidades de atención médica.

Los *requisitos* que debe cumplir el proveedor de servicios de salud están dentro de tres componentes generales que son: "la atención técnica, el manejo de la relación interpersonal y el **ambiente** en el que se lleva a cabo el proceso de atención."⁸ Para los fines de esta investigación es el último de estos tres requisitos el que interesa.

El ambiente se refiere a las características del medio (áreas físicas), dentro del cual se proporcionan los servicios de salud. Debido a la importancia de este parámetro, para determinar la calidad de la atención médica, ha sido necesario identificar las principales áreas de las unidades médicas a evaluar y entre estas destacan: **consulta externa**, urgencias, hospitalización, bloque tóxicoquirúrgico, cuidados intensivos, laboratorios de análisis clínicos y gabinetes de radiología.⁹

⁸ Avedis Donabedian., *La dimensión internacional de la evaluación y garantía de la calidad*. Salud Pública de México, 1990; 32 (2), p. 113.

⁹ Manuel Ruíz de Chávez, et-al. *Bases para la evaluación de la calidad de la atención en las unidades médicas del sector salud*, Salud Pública de México, 1990, 32 (2), p.159.

Para que se cumpla con la calidad en la atención médica, estos espacios deben satisfacer al usuario y ello se consigue a través del cumplimiento de las *expectativas* con las que acude a recibir la atención médica, la identificación de éstas se ha efectuado mediante encuestas de opinión.^{10,11,12}

2.5 Expectativas del paciente

Los usuarios de las unidades médicas son principalmente: los trabajadores, médicos, enfermeras, personal administrativo, de limpieza, entre otros y los pacientes; los primeros tienen expectativas especialmente de carácter funcional como son: espacio suficiente, equipo y materiales para laborar, entre otros. Las expectativas de los pacientes involucran todo lo que desea o requiere para sentirse de manera confortable mientras se realiza la atención médica.

Este trabajo de investigación está enfocado sólo en el estudio de las *expectativas* del paciente. No por ello se quiere sugerir que los trabajadores no requieren también de atención; sin embargo, los pacientes son el grupo más vulnerable¹³ de todos los usuarios. Ellos se encuentran en condiciones físicamente débiles, y de acuerdo con algunas investigaciones^{14,15}, una persona enferma o de alguna manera debilitada tiene menor energía para desarrollar el afrontamiento del estrés. En adelante, cuando se hable del usuario, se entenderá que es el paciente.

Una de las expectativas, conforme a la percepción del usuario; que ha sido posible identificar, es la *comodidad* durante el proceso, donde intervienen factores como la climatización, **control de ruido**, iluminación adecuada, ausencia de malos olores y de fauna nociva, entre otros aspectos.¹⁶

Se ha dicho que el paciente tiene menor capacidad para enfrentar el estrés, que puede ser generado por la propia enfermedad o por las condiciones del medio;¹⁷ en este caso, al hablar de estrés, me refiero a un estímulo que se percibe en el espacio de atención a la salud y que provoca una respuesta de tensión en el paciente. Para los propósitos de esta investigación el estímulo que se analiza es el **ruido**.

En el caso de pacientes hospitalizados, se ha encontrado que el ruido es uno de los estresores ambientales más nocivos.¹⁸ Para los pacientes *ambulatorios*¹⁹ el ruido es reconocido como fuente de molestia, "...uno de los principales motivos por los que los usuarios de los servicios se quejan es la demora en la atención, las condiciones inadecuadas del área física en la que tiene que esperar suelen acrecentar la insatisfacción [...] Las salas de espera de muchas unidades médicas han sido descritas por los derechohabientes como desagradables, y una de las razones para emitir ese juicio es que existe mucho ruido."²⁰

El trabajo de investigación se enfoca al estudio del ruido en las salas de espera del área de consulta externa, partiendo de los siguientes hechos:

a) Una de las expectativas del usuario es la comodidad, para la cual influye el control del ruido, por ello es importante un estudio que permita tomar en cuenta esta situación para ser incluida en la evaluación de calidad en la atención médica.

¹⁰ Alejandro Sotomayor G. *Calidad, elemento esencial de la Seguridad Social*, p. 17.

¹¹ Blanca Hernández Leyva, et-al, *Satisfacción de usuarios en unidades de medicina familiar*, Revista Médica IMSS, 2002, 40 (5): 373-378.

¹² Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, Programa Nacional de Encuestas, ISSSTE.

¹³ Janet Reizensten, *Desig that cares*, p. 1.

¹⁴ Véase: Jesús Rodríguez y Rosario Zurriaga, *Estrés, enfermedad y hospitalización*.

¹⁵ Sara Hosking & Liz Haggard, *Healing the hospital environment*, p.163.

¹⁶ Héctor G. Aguirre, *Calidad de la atención médica*, p.62.

¹⁷ Rodríguez, op. cit. cap. IV.

¹⁸ Jain Malkin, *Hospital interior architecture*, p.18.

¹⁹ Los pacientes ambulatorios son aquellos que no requieren de hospitalización.

²⁰ Sotomayor, op. cit. p.57.

b) Los criterios existentes para valorar la atención médica²¹ pueden y deben perfeccionarse con nuevos enfoques o con conocimiento científico actualizado.

2.6 Normas

La evaluación de las expectativas del paciente permite estimar la calidad de la atención brindada, siempre y cuando, de acuerdo con Donabedian, se tomen en consideración las características específicas del país en que se da la atención al paciente, "...de cultura a cultura cambian las normas de adecuación y la disponibilidad de recursos, las preferencias de la gente, sus creencias, y consecuentemente deben cambiar los criterios para evaluar la calidad de la atención."²²

Si retomamos el significado que da este mismo autor sobre calidad, *conformidad con normas*, entonces es pertinente hacer un análisis de lo que sucede con algunas normas mexicanas relacionadas con el tema de investigación, que involucra: las salas de espera de consulta externa²³ de unidades médicas y el ruido en las mismas.

Normas de la Secretaría de Salud

La Secretaría de Salud es la institución rectora del sistema de salubridad, y tienen competencia para elaborar Normas Oficiales Mexicanas, a las que deberá sujetarse el diseño, la construcción, equipamiento, mantenimiento, conservación y ampliación de los establecimientos dedicados a la prestación de servicios de salud.

La Norma Oficial Mexicana NOM-178-SSA1-1998, establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios. Esta

norma es aplicable a todos los establecimientos de atención médica, que presten servicios a pacientes ambulatorios de los sectores público, social y privado. De los lineamientos para la adecuación de la estructura que marca esta norma y que involucra el espacio físico de atención al usuario, cabe resaltar los siguientes y hacer un comentario de ellos:

a) En cuanto a la unidad de atención médica dice esta norma: "...*deben ser diseñadas y construidas con elementos necesarios para lograr **confort ambiental** agradable en los locales que integran el establecimiento de acuerdo a la función, mobiliario, equipamiento y a las condiciones climáticas de la región, con materiales y su distribución adecuada para obtener un aislamiento térmico correcto.*"

b) En cuanto a la sala de espera dice la norma: "...*es recomendable que proporcione **comodidad** y seguridad al paciente y su acompañante mientras aguarda ser atendido.*"

En esta norma no se da una definición para el confort ambiental, no se explica qué se debe entender cuando se habla de comodidad, ni qué aspectos se deben atender para lograr este requisito en las salas de espera.

El término confort, voz inglesa *comfort*, se refiere en términos generales a un estado que supone bienestar, salud y comodidad. Para lograr dicho estado en las personas se requiere analizar, entre otros aspectos, los físicos del ambiente; como son: el sonido, la luz, el color, la temperatura, la humedad y el movimiento y pureza del aire.²⁴ Entonces; para obtener espacios de bienestar, se deben establecer las condiciones óptimas de acuerdo con parámetros bien definidos para cada uno de los aspectos antes mencionados, y que deben estar en función de la actividad que ahí se desarrolla.

²¹ Diario Oficial de la Federación, *Criterios para la certificación de hospitales*, 25 de junio de 1999.

²² Donabedian, op. cit. p.113.

²³ Se llama consulta externa al servicio médico que se otorga a pacientes ambulatorios.

²⁴ Manuel Rodríguez Viqueira, et. al., *Introducción a la arquitectura bioclimática*, Apud, D.J. Croome, *Noise, building and people*, 1977.

Sin embargo al final del párrafo mencionado de la norma, sólo se refiere a las condiciones climáticas para lograr el confort ambiental en la unidad médica.

c) Cuando se refiere a los materiales la norma establece: *"los pisos, muros y plafones de la unidad deben ser de fácil limpieza, resistentes y llenar las necesidades de acuerdo a la función del local y las características del ambiente."*

La norma en ninguno de sus apartados indica qué se debe entender como características del ambiente, ¿se refiere a características térmicas, lumínicas, acústicas, u otras? En una norma, cuanto más clara es la definición de cómo y para qué hacer las cosas, la posibilidad de que favorezca a alcanzar el objetivo de calidad será mayor; sin embargo, esta norma, por su imprecisión, no ayuda a establecer las condiciones ambientales que deben cumplir las diferentes áreas de la unidad médica.

Normas de diseño del IMSS

Las normas de diseño del IMSS tienen aplicación en el propio instituto y también son usadas por otras instituciones públicas y privadas.

Las características del área de consulta externa para los diferentes niveles de atención, es decir, en unidades de medicina familiar y de especialidades, la norma los define así:

a) Para el caso de las unidades de medicina familiar, la norma de diseño²⁵ establece lo siguiente para la sala de espera de consulta externa: *"contará con 10 lugares por consultorio, siendo un espacio de uso continuo y concentración de derechohabientes, la sala deberá ser amplia, bien ventilada e iluminada, con ambientación agradable que ayude al confort de pacientes y acompañantes."*

²⁵ IMSS. *Normas de diseño de arquitectura*, consulta externa de medicina familiar, p.2.

b) Para la sala de espera de consulta externa de especialidades la norma²⁶ dice lo siguiente: *"contará con espacios destinados a espera (10 lugares por consultorio), teléfono público y sanitarios para hombres y mujeres. Siendo un espacio de uso continuo y concentración de gente, la sala de espera será amplia, bien ventilada e iluminada, con ambientación agradable que ayude al relajamiento de tensiones en pacientes y acompañantes."*

La norma no define en estos apartados qué es la *ambientación agradable*; sin embargo, para la sala de espera de medicina física y rehabilitación²⁷ llama ambientación a elementos como macetones y cuadros decorativos.

Si bien es cierto que estos elementos y otros como un acuario, televisión, y material para leer pueden ayudar a reducir el estrés causado por la espera,²⁸ también existen otros factores que deben ser tomados en cuenta.

De acuerdo con Millicent Gappell,²⁹ existen factores que pueden ser considerados como buena medicina ellos mismos, y que pueden influenciar el bienestar físico y emocional; si se aplican adecuadamente en el diseño de una unidad médica, estos factores son principalmente: luz, color, **sonido**, aroma, textura y espacio. En cuanto al sonido sugiere que se haga una selección de materiales para las superficies interiores que no reflejen o amplifiquen las ondas sonoras para proveer un ambiente tranquilo.

Si lo que se pretende con esta norma es generar salas de espera que den a sus usuarios un ambiente de comodidad, entonces no sólo se debería poner atención en los aspectos climáticos, en los espacios amplios y en la decoración, sino también en los que menciona Millicent Gappell.

²⁶ Ibidem, consulta externa de especialidades, p. 3.

²⁷ Ibidem, medicina física y rehabilitación, p. 6.

²⁸ Janet Reizensten, op. cit, p. 107.

²⁹ Millicent Gappell, *Psychoneuroimmunology*, Fourth Symposium on Healthcare Design, Boston, 1991.

En las normas de diseño del IMSS que se refieren al bioclima³⁰, se menciona que el objetivo de estas es proporcionar herramientas para hacer que los espacios se adapten al medio ambiente que las circunda. Dice que esta adaptación depende de muchos aspectos incluidos en el medio natural y en el medio artificial. Para el primero, el factor principal es la climatología: temperaturas, humedades, vientos y soleamientos; para el segundo: las propiedades térmicas, acústicas y lumínicas de los materiales de construcción, la relación de la obra hacia y desde el entorno urbano: soleamiento y sonoridades, entre otras.

A pesar de que se menciona que dicha adaptación es con el propósito de lograr el bienestar de los usuarios, esta norma se enfoca principalmente a la adecuación de la construcción al medio natural.

En lo que se refiere al medio artificial, y en concreto al acústico, esta norma sólo señala lo siguiente:

1. Dentro de la información preliminar que el proyectista debe conocer se incluye: "*la posibilidad de impactos sonoros de intensidad y frecuencia variables.*"³¹

En un ambiente urbano esta posibilidad es una realidad,³² en algunas zonas la intensidad sonora será mayor o menor que en otras, entonces, sería más adecuado que la norma especificara a partir de qué intensidad estos impactos deben tomarse en cuenta, por qué y cómo debe solucionarse el problema.

2. Dentro de los criterios normativos del proyecto se menciona lo siguiente:³³

a) para el conjunto: *haga un reconocimiento del entorno con el fin de detectar las posibles fuentes contaminantes (aire, ruido, etcétera).*

La norma no menciona qué medidas se deben tomar después de identificar las fuentes de ruido, (en caso de ser esto posible).

b) para el edificio: *si el edificio se ubica cerca de fuentes de ruido, considere el uso de aislantes acústicos³⁴ en muros y plafones. Los árboles son buenos elementos para controlar el ruido.*

Se entiende que las fuentes de ruido a las que se refiere son del exterior, entonces, el aislamiento en muros es una medida adecuada para evitar la transmisión del ruido, no así los plafones.³⁵

En cuanto a los árboles como elementos para controlar el ruido se puede comentar lo siguiente. Es conocido que los obstáculos naturales influyen en la propagación del ruido^{36,37}, el terreno y todo tipo de vegetación son capaces de atenuar el sonido, en cierto grado. Para el caso de pantallas vegetales formadas por árboles dicha atenuación puede ser significativa solamente cuando las pantallas son muy densas (al menos 100 m de profundidad). La atenuación puede variar entre 5 dB/100 m para bosques no muy densos de hoja caduca y 20 dB/100 m para bosques densos de hoja perenne³⁸.

La norma menciona también lo siguiente: *de acuerdo con las fuentes de contaminación acústica, los niveles de ruido ambiental y los rangos de confort acústico para las distintas áreas*

³⁰ IMSS, Normas de diseño de arquitectura, *bioclima*, p. 2

³¹ *Ibidem*, p. 3

³² Marta G. Orozco, *Los niveles de ruido en Guadalajara*, Revista de vinculación y ciencia, agosto 2001, No. 7.

³³ IMSS, Normas de diseño de arquitectura, *bioclima*, p. 171 y 172.

³⁴ Un elemento aislante es aquel que no permite la transmisión de las ondas sonoras y la efectividad de este está en función de su densidad superficial.

³⁵ Vid. *Infra*. Capítulo 4.

³⁶ M. A. Price, K. Attenborough, and N.W. Heap, *Sound attenuation through trees: Measurements and Models*, J. Acoust. Soc. Am. 84, 1836-1844, 1988.

³⁷ F. Fricke, *Sound Attenuation in Forest*, J. Sound Vib. 92, 149-158, 1984.

³⁸ J. Llinares Galiana, et. al., *Acústica arquitectónica y Urbanística*, p.318.

del edificio, seleccione los materiales adecuados para obtener el índice de reducción de sonido que usted necesite.

Es evidente que existe la intención de proporcionar confort al usuario desde el punto de vista acústico, sin embargo, sólo se está considerando la influencia del entorno urbano (ruido exterior) y no se pone atención en el ruido generado en el interior de los espacios. Por otro lado; las normas antes señaladas no indican valores o rangos de confort acústico. Estos valores, como tales, no se encuentran en ninguna norma en México, sólo existe una que establece valores, que de acuerdo con ésta misma, son para que el recinto satisfaga la función para la cual se ha diseñado.

Norma de ruido de la Secretaría de Comercio

Norma Mexicana NMX-C-207-1977 "Criterios de ruido según la función de los claustros". Establece niveles de ruido máximos permitidos para diferentes tipos de edificios, determinados con las curvas de valoración del ruido PNC³⁹, en esta norma llamadas curvas preferentes de criterio de ruido. La norma distingue a los edificios sensibles como aquellos cuyo funcionamiento se ve alterado por la intrusión de ruido, dentro de esta categoría incluye a los hospitales, sanatorios y clínicas. Para algunas áreas de estos se establecen valores máximos que han sido mostrados en la tabla 10 del capítulo 1. Esta norma debía ser una herramienta imprescindible en el diseño acústico de espacios arquitectónicos, sin embargo, desde mi punto de vista no es posible apoyarse en ella por las siguientes razones:

a) La norma no define en qué se basó para fijar los valores de ruido. Se ha comentado en el capítulo 1 que la tolerancia de una persona al ruido varía por diferentes aspectos, entre ellos los culturales, por lo que es importante que los niveles sean los adecuados para la población mexicana.

b) La norma fue aprobada y publicada el 24 de octubre de 1977. De tal año a la fecha en el campo de la acústica ha habido un amplio estudio en cuanto a la valoración del ruido, mientras que esta norma no ha tenido revisión alguna.

c) Las curvas PNC, según algunos expertos no resultaron prácticas y no fueron incorporadas en ninguna norma o guías en los Estados Unidos de América, por lo que nunca fueron ampliamente aceptadas. Actualmente, con el desarrollo de nuevos criterios para evaluar el ruido, las curvas PNC están prácticamente en desuso.

d) Manuel Recuero (1994), uno de los pocos autores que han sugerido niveles de ruido basados en las curvas PNC, propone los mostrados en la tabla 1 para las salas de espera de hospitales (la equivalencia de las curvas PNC en dB (A) se obtuvo de la norma NMX-C-207-1977).

Tabla 1. Nivel de ruido para salas de espera.

Ruido	curva PNC	dB (A)
deseable	25	34
máximo recomendable	40	47

Entre el valor establecido por la norma mexicana (curva PNC 50, con una equivalencia de 56 dB (A)), y el nivel deseable recomendado por Recuero hay 22 dB de diferencia, y un incremento en el nivel sonoro de 20 dB representa, de manera subjetiva, una percepción de un ambiente cuatro veces más ruidoso.

e) La Organización Mundial de la Salud establece que, un nivel de más de 55 dB (A) se considera *muy ruidoso*⁴⁰, mientras que la norma mexicana permite un ambiente de 56 dB (A) para las salas de espera de hospitales, sanatorios y clínicas.

⁴⁰ Fausto Rodríguez, *Confort acústico*, 5°. Congreso de Acústica, Septiembre, 1998. Apud, *El ruido*, Criterios de salud ambiental 12, Organización Mundial de la Salud, ONU, Washington, 1983.

³⁹ Vid. Supra. Figura 35 capítulo 1.

Reglamento de Construcción

Las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, en su apartado 4.4 Control de ruido y audición, establece que el Director Responsable de Obra debe presentar una Memoria Descriptiva que incluya los estudios y análisis correspondientes que justifiquen las medidas que se adopten para garantizar el cumplimiento de las siguientes disposiciones:

- I. Los equipos de bombeo, de generación y de transformación eléctrica y la maquinaria en general, que produzcan una intensidad sonora mayor de 65 decibeles, medida a 0.50 m en el exterior del predio, deben estar aislados en locales acondicionados acústicamente, de manera que reduzcan la intensidad sonora a dicho valor;
- II. Los establecimientos de alimentos y bebidas y los centros de entretenimiento que produzcan una intensidad sonora mayor de 65 decibeles deben estar aislados acústicamente. El sistema constructivo y el aislamiento deben ser capaces de reducir la intensidad sonora, por los menos a dicho valor, medido a siete metros en cualquier dirección fuera de los linderos del predio del establecimiento, y
- III. En los locales destinados a auditorios, espectáculos, actos de culto y en general centros de reunión de más de 500 personas en las que la actividad fundamental sea auditiva, se presentará un estudio que indique las consideraciones de diseño que garanticen la condición de audición adecuada para todos los usuarios.

Así mismo se debe de considerar lo relativo a la norma NOM-011-STPS relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

Después de revisar las principales normas que rigen el diseño de unidades médicas se puede concluir lo siguiente:

a) Las normas de diseño no establecen de forma rigurosa aspectos acústicos; sin embargo, se habla de un ambiente confortable y es entonces,

responsabilidad del diseñador conocer los parámetros que intervienen para lograr éste ambiente

b) La norma de criterios de ruido debería ser la aplicación del conocimiento científico actualizado; sin embargo, ésta, al no estar sometida a revisiones constantes se ha vuelto obsoleta; por tal razón no se podría usar como medida de calidad.

c) En cuanto al reglamento de Construcciones., Básicamente trata de proteger el ambiente exterior y el ambiente laboral, no se considera a los espacios desde el punto de vista de la comodidad. Considero que su aportación es insuficiente, existen muchas otras consideraciones que deben tomarse en cuenta para lograr espacios adecuados, desde el punto de vista acústico, para el buen desarrollo de las actividades y protección del ruido.

Cabe mencionar que en otros países existe un amplio estudio en cuanto al ambiente sonoro de cada espacio habitable, tal es el caso de Suecia y Noruega, sólo por mencionar algunos.

En el caso de Suecia, la norma de ruido SS 02 52 68 ha sido elaborada como complemento del reglamento sueco de construcción. En ella se establecen exigencias mínimas de los niveles de ruido, de aislamiento y de tiempos de reverberación para los espacios arquitectónicos de nueva creación y para los ya construidos.

La norma establece diferentes calidades acústicas englobadas en 4 clases: A: calidad muy buena, B: calidad buena, C: calidad aceptable y D: calidad no aceptable. Se recomienda que, por lo menos se debe dar a los espacios una calidad C. La norma se enfoca principalmente a los ruidos generados por las instalaciones y al transmitido del exterior y no da importancia al ruido generado por las actividades que se desarrollan dentro del recinto. Cabe mencionar que dedica un capítulo completo a las unidades médicas.

Medición del ruido

3.1 Introducción

Para conocer de manera objetiva el problema de ruido se optó por tomar como muestra unidades médicas del sector social; la principal razón de esta elección es la situación en que se encuentra actualmente la arquitectura de este sector.¹

Dentro de una unidad médica son varias las áreas donde se proporcionan los servicios de salud que deben ser evaluados para determinar la calidad de la atención²; sin embargo, por razones de tiempo para el desarrollo de ésta investigación sólo se limitó al análisis de las salas de espera de consulta externa.

En la primera parte de este capítulo se mencionan las unidades médicas que conformaron la muestra de espacios donde se realizaron las mediciones de ruido. Más adelante se explica el objetivo de llevar a cabo las mediciones, con qué y cómo se realizaron.

Se analizan algunos valores de ruido sugeridos por algunos autores y establecidos en algunas normas para espacios para la salud, y se toma uno de ellos como referencia para hacer la evaluación del ruido medido en las salas de espera.

Al final del capítulo se presentan los resultados de las mediciones, la evaluación de éstos y se enuncia de manera general el método para reducir los niveles de ruido.

3.2 Unidades médicas donde se realizaron las mediciones

Las mediciones se llevaron a cabo en las siguientes unidades médicas:

1. Del IMSS:
 - a) Hospital de Zona/UMF No. 8.
 - b) Hospital de gineco obstetricia No. 4 Dr. Luis Castelazo Ayala.
2. Del ISSSTE:
 - a) Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos.
 - b) Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.

Las razones por las que se eligieron éstas unidades médicas fueron las siguientes:

- a) Las unidades médicas elegidas fueron aquellas donde se obtuvo una pronta respuesta satisfactoria a la solicitud de permiso para realizar las mediciones de ruido. No se hicieron mediciones en el sector privado porque en un par de casos no se obtuvo una respuesta positiva.
- b) Por lo laborioso de las mediciones y por razones de tiempo, para desarrollar este trabajo de investigación se limitó a realizar las mediciones sólo en cuatro unidades médicas el sector de seguridad social.
- c) El equipo de medición que se usó pertenece al laboratorio de acústica del CCADET de la UNAM, éste equipo es un conjunto de instrumentos delicados y costosos. Por razones de seguridad, se buscó unidades médicas que se localizarán cerca de dicho laboratorio.

¹ Vid supra, La arquitectura sanitaria en el capítulo 2

² Vid supra, Calidad de la atención médica en el capítulo 2

Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 y Hospital de Gineco obstetricia No. 4 Dr. Luis Castelazo Ayala.

Entre los años 1973 y 1976 se realizó al sur de la Ciudad de México la construcción del centro hospitalario Villa Obregón que se muestra en la figura 1, este fue diseñado por el arquitecto Agustín Hernández Navarro. "... el proyecto y la construcción se realizaron con las técnicas de medicina aplicada más avanzada, procurando por una parte condiciones óptimas de funcionamiento y por la otra un alto índice de comodidad tanto para los pacientes como para el personal de servicio."³

Actualmente este conjunto está dividido en dos unidades médicas, el lado poniente lo ocupa el Hospital de Zona/UMF No. 8, el cual ofrece servicios del 1o. y 2o. nivel de atención. El lado oriente lo ocupa el hospital de Gineco obstetricia No.4, Dr. Luis Castelazo Ayala, que ofrece servicios del 3er. nivel de atención.

Cabe citar los comentarios que hace el doctor Víctor Inclán, quien laboró en el IMSS durante cuatro décadas, a cerca de esta unidad médica⁴: "... para cuando se terminó de construir, a pesar de los estudios preliminares, ya era insuficiente para atender las necesidades de los derechohabientes [...] A pesar de que a mediados de los ochenta ya tenía sobrecupo, la clínica Hospital No. 8 fue transformada nominalmente a Hospital General, intentando atender una demanda mayor [...] se fueron transformando los espacios abiertos interiores, las partes bajas de las rampas, y todo recoveco disponible en múltiples consultorios; algunas salas de espera se convirtieron en espacios para servicios que antes no existían [...]"

Esta situación que describe el doctor Inclán se sigue viendo actualmente en el conjunto hospitalario, pero principalmente en el Hospital de Zona/UMF No. 8 .

En la fecha en que se realizaron las mediciones de ruido (24 de noviembre de 2003) en el Hospital de Zona/UMF No. 8, las salas de espera se encontraban como se muestran en las figuras 4 y 5. En el mes de junio de 2004, en una segunda visita a la unidad médica, ya se encontraban 3 consultorios más, 2 en planta baja, localizados en donde se ubicaron los puntos 9 y 12 de la medición de ruido (ver figura 4) y uno en planta alta en la sala de espera donde se ubica el punto de medición número 6 (ver figura 5).

Estos nuevos consultorios han creado varios problemas:

1. Han reducido el área de espera.
2. Desintegración arquitectónica por su ubicación y por los materiales con que han sido construidos (aluminio y acrílico).
3. Los materiales de construcción permiten una fácil transmisión del ruido desde la sala de espera hacia el interior del consultorio provocando malestar de los médicos y pacientes durante la consulta.

³ Catálogos de arquitectura mexicana, *Agustín Hernández*, p. 30.

⁴ Eduardo Langagne, *Clínicas y hospitales*, p. 12.

Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos

Este hospital pertenece al Instituto de Seguridad Social de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), se localiza en la Avenida Universidad casi esquina con Avenida Río Churubusco (figura 2).

Fue diseñado por el arquitecto Enrique Yáñez y construido en 1969. El diseño se trata de tres cuerpos principales, en uno se dan los servicios de consulta externa y servicios auxiliares de diagnóstico, otro, ofrece los servicios de hospitalización y el tercero aloja los servicios de urgencias.

Actualmente es un hospital que ofrece servicios del tercer nivel de atención, es decir, atención de alta especialidad. Tiene una capacidad de 453 camas y atiende mensualmente 11 mil urgencias, 24 mil consultas y 2500 cirugías.

Cabe mencionar que este hospital fue certificado por cinco años por la empresa privada Health Care System y avalada por la Secretaría de Salud en el año 2000.

... "La empresa certificadora actuó con un grupo multidisciplinario integrado por 10 profesionales (médicos, enfermeras, biomédicos, administradores), quienes durante dos semanas se abocaron al análisis de cada una de las tareas efectuadas en el Hospital Regional Adolfo López Mateos. Sus parámetros de evaluación fueron exigentes, pues cada área fue equiparada a las de los nosocomios privados de alto nivel. El proceso de certificación a que fue sujeto el Hospital Regional Adolfo López Mateos incluyó 467 reactivos, en los cuales se contemplaron aspectos operativos y administrativos, procedimientos médicos, compromiso y mística de trabajo."⁵

⁵ Rosario Gómez Ortiz, *Dan certificación de hospitales al Adolfo López Mateos*, Nosotros, órgano informativo del ISSSTE, No.37, octubre-2000.

Centro Médico Nacional 20 de Noviembre

Localizado en la Avenida Félix Cuevas y la Avenida Coyoacán. Tiene sus orígenes en la década de los cuarenta con el inicio de la construcción del hospital privado Fajer, el cual, por falta de recursos económicos no se concluyó.

Entre 1950 y 1959 la construcción inconclusa fue adecuada por los arquitectos Landa para formar el Centro Hospitalario 20 de Noviembre, que fue creciendo hasta conformar un conjunto de 5 edificios, este conjunto actualmente se conoce como Centro Médico Nacional 20 de Noviembre (figura 3).

En 1993 se llevó a cabo una rehabilitación del conjunto bajo la dirección de Ernesto Velasco León y Enrique Mejía Rojo. Participaron especialistas en varias áreas: arquitectos, ingenieros especialistas en estructuras, electromecánica, acústica, tratamiento de agua, desechos sólidos, sistemas avanzados en el uso de energía pasiva, arquitectos paisajistas, diseñadores industriales y artistas plásticos.⁶

... "Desde el inicio se recomendó a los arquitectos proyectistas el emplear los más altos niveles de tecnología, lo mismo en el funcionamiento de un hospital de este tipo, que en los materiales y sistemas constructivos, empleando energía solar, aislamiento solar en las fachadas para ahorrar energía y buscar la manera de minimizar el uso del sistema de aire acondicionado [...] Con estas ideas, el proyecto terminó contando con aire acondicionado solamente en los laboratorios y en cirugía y al resto se le buscaron soluciones naturales que luego demostraron funcionar adecuadamente."⁷

⁶ Rosario Gómez Ortiz, *De un hospital a 1700 instalaciones en 40 años*, Nosotros, órgano informativo del ISSSTE, No.27, octubre-1999.

⁷ Eduardo Langagne, *Génesis de los edificios de salud*, p.23.

En las figuras 1 a 3 se indica con el símbolo * la zona de la unidad médica donde se localizan las respectivas salas de espera donde se realizaron las mediciones de ruido. En los planos, figuras 4 a 8, el símbolo * muestra la ubicación de los puntos de medición dentro de las salas.

El dibujo en los planos de cada una de las unidades médicas corresponde a la realidad sólo en el área de salas de espera. El interior de los consultorios no se muestra debido a que no forman parte del espacio de estudio.

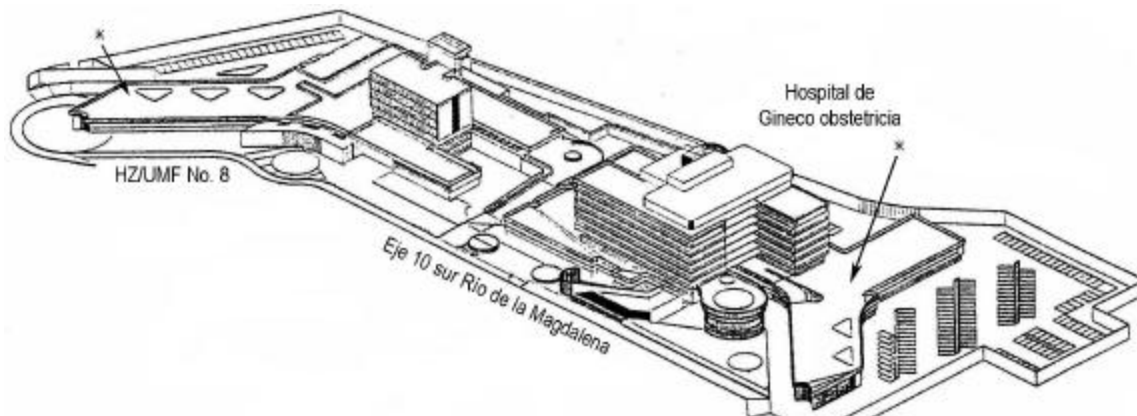


Figura 1. Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 y Hospital de Gineco obstetricia No. 4.⁸

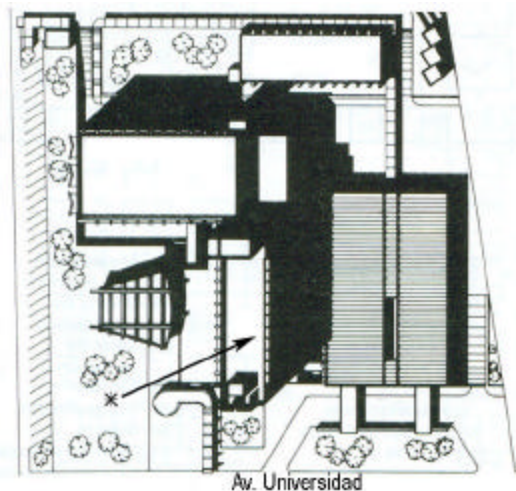


Figura 2. Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos.⁹

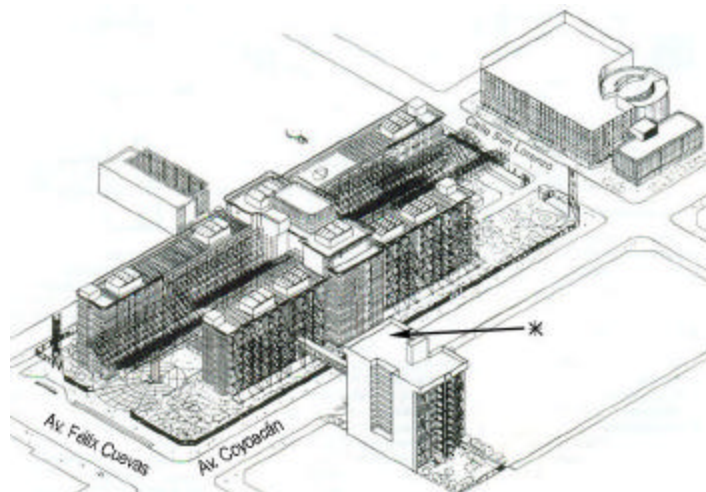


Figura 3. Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.¹⁰

⁸ Catálogos de Arquitectura Mexicana, op. cit., p. 31.

⁹ Alfredo Plazola, *Enciclopedia de Arquitectura Plazola*, Vol. 6, p.231.

¹⁰ Ibidem. p. 313.

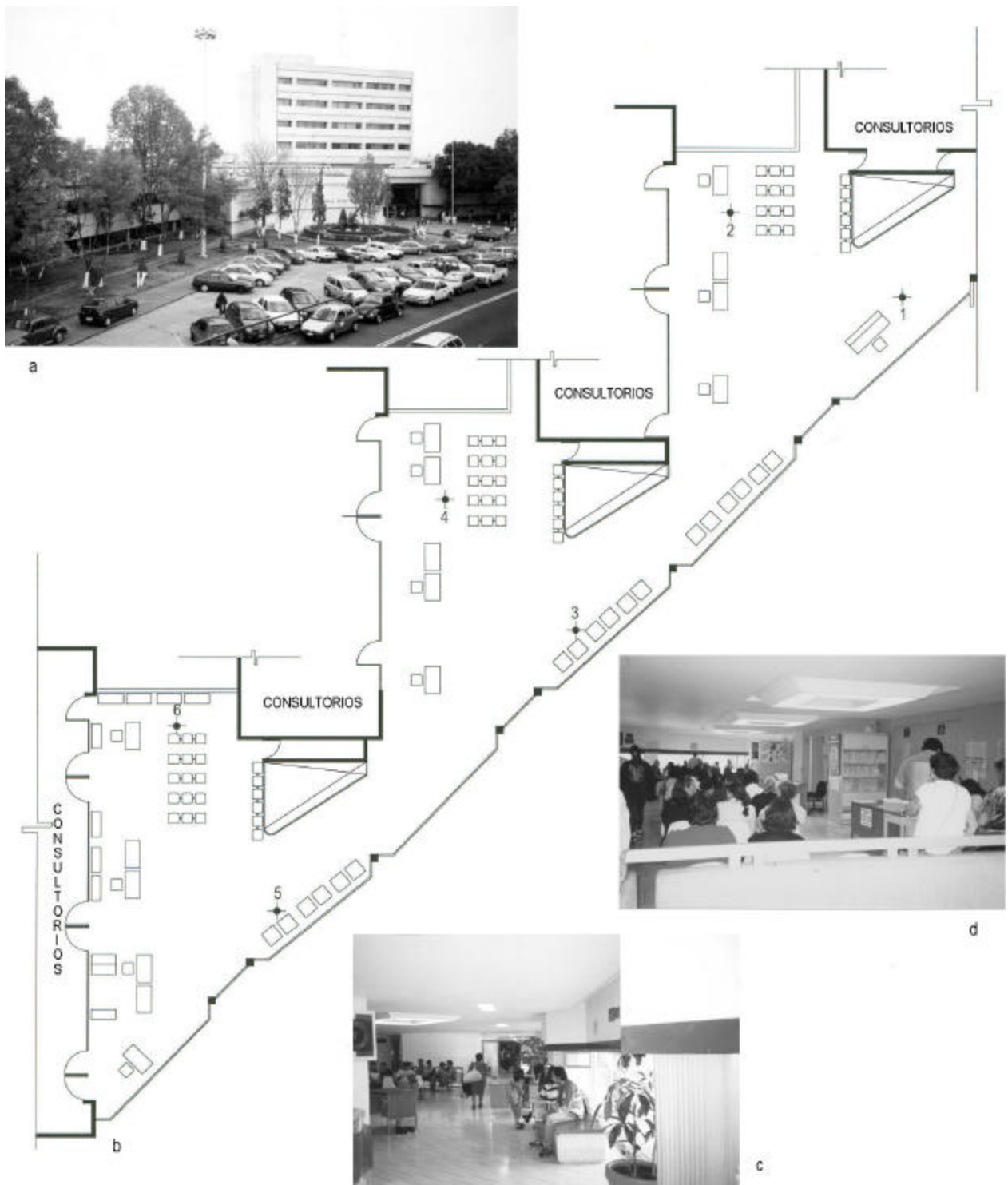


Figura 4. Hospital de Zona/UMF No. 8, a: Vista exterior desde el eje 10, b: Planta arquitectónica de salas de espera de consulta externa de medicina familiar en planta alta, c: Sala de espera vista desde el punto de medición No. 5, d: Sala de espera donde se localiza el punto de medición No. 4

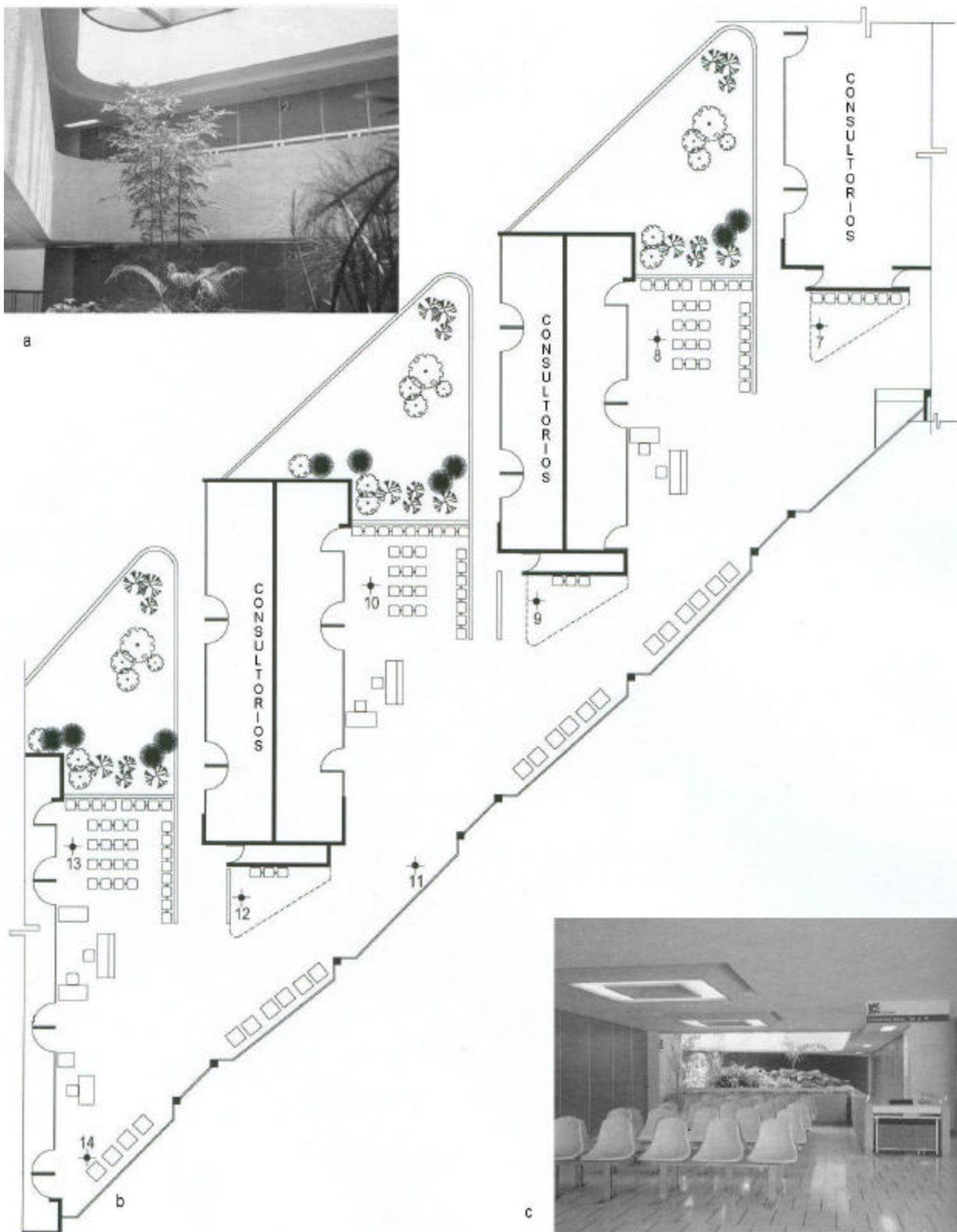


Figura 5. Hospital de Zona/UMF No. 8,¹¹ a: Vista desde sala de espera de jardinera y consultorios de las plantas baja y alta, b: Planta arquitectónica de salas de espera de consulta externa de especialidades en planta baja, c: Vista de sala de espera en p.b.

¹¹ Fotografías a y c. Plazola, op. cit. p. 246

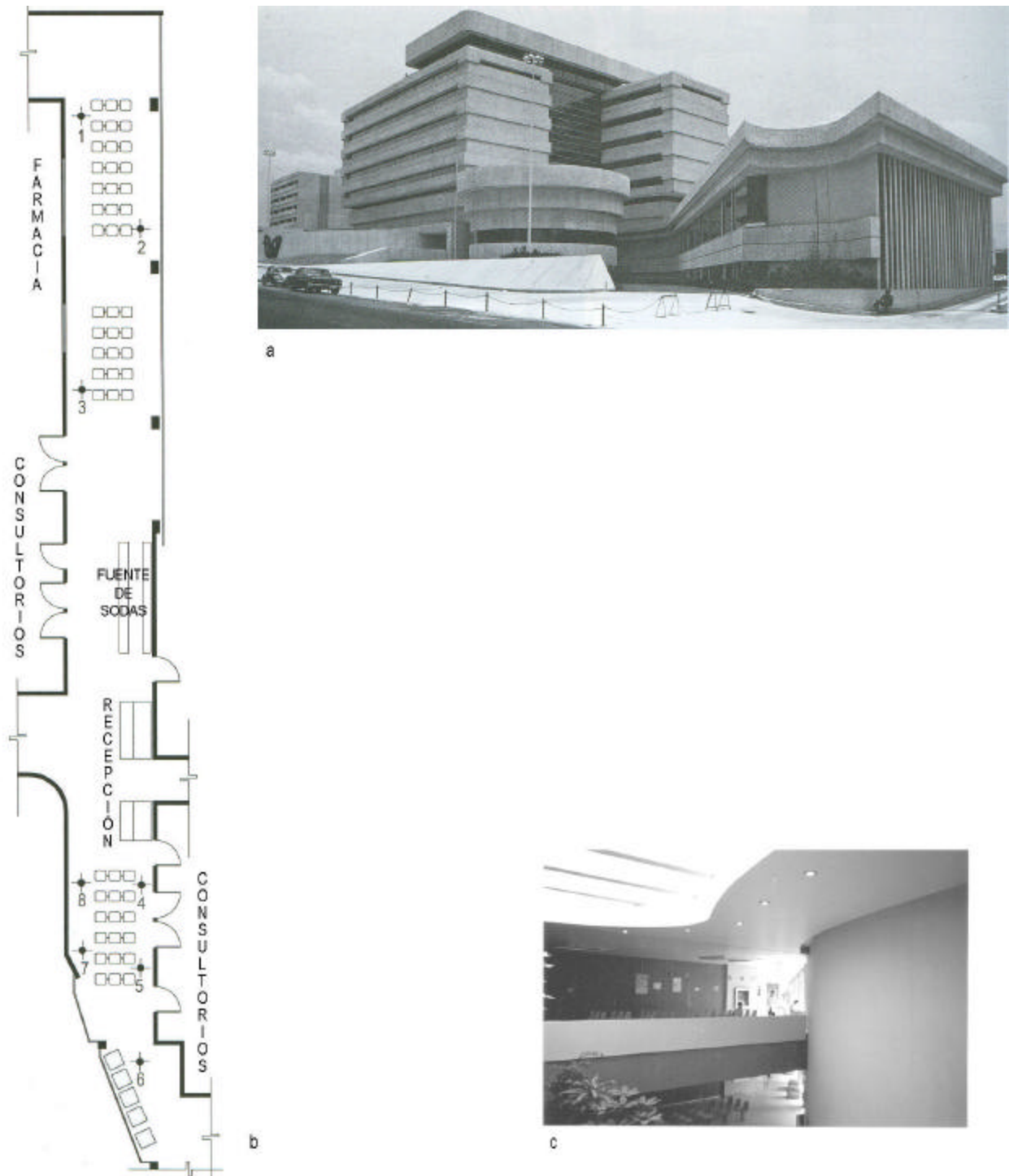


Figura 6. Hospital de Gineco obstetricia No. 4, a: Vista exterior desde el eje 10,¹² b: Planta arquitectónica de salas de espera de consulta externa en planta alta, c: Sala de espera donde se localizan los puntos de medición 4-8.

¹² Plazola, op. cit. p.244.

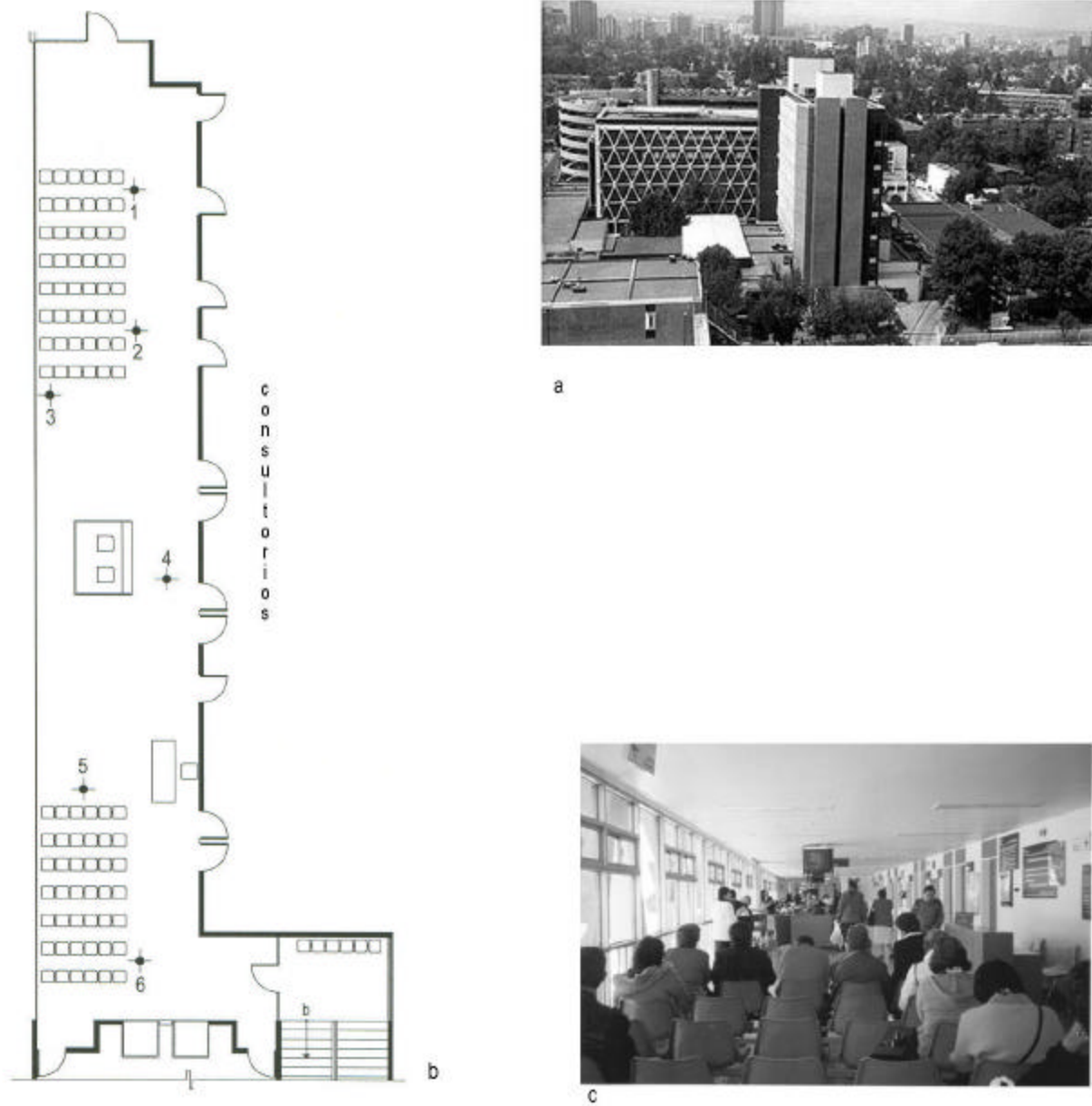


Figura 7. Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos, a: Vista exterior¹³, b: Planta arquitectónica de sala de espera de consulta externa, 2o. piso, c: Vista de sala de espera desde la última fila de sillas (cerca de punto de medición No.6)

¹³ Rosario Gómez Ortiz, *Dan certificación de hospitales al Adolfo López Mateos*, op. cit.



Figura 8. Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, a: Planta arquitectónica de sala de espera de consulta externa 3er piso, b: Planta arquitectónica de sala de espera de consulta externa 2o piso, c: Vista exterior desde Av. Coyoacán, ¹⁴ d: Sala de espera de consulta externa de 3er. piso, vista desde el bloque de sillas donde se localizan los puntos de medición 1 y 2.

¹⁴ Plazola, op.cit. p.318.

3.3 Objetivo, instrumentación y método de medición

Se entiende como medición de ruido a la cuantificación física de éste mediante su nivel de presión sonora en decibeles, en el interior de las salas de espera de las unidades médicas descritas en el apartado anterior.

Es importante conocer el para qué y el cómo de dichas mediciones, por lo que el primer paso en cualquier programa de medición de este tipo es definir claramente el objetivo y para ello se sugiere contestar, entre otras, las siguientes preguntas:¹⁵

1. ¿Para qué se deben hacer las mediciones?
Para evaluar las condiciones de ruido en el interior de edificios para la salud del sector social.
2. ¿Dónde deben hacerse las mediciones?
Las mediciones de ruido deben hacerse en todas las áreas donde se proporcionan los servicios de salud a los pacientes, principalmente en consulta externa, urgencias, hospitalización y cuidados intensivos. Sin embargo; para los fines de este trabajo de investigación y por la limitación del tiempo para realizarlo, sólo se hicieron las mediciones en consulta externa, específicamente, en diferentes puntos distribuidos en los sitios que ocupan los pacientes en las salas de espera.
3. ¿Existe alguna restricción en el equipo de medición?
Por razones de seguridad se requiere que éste sea portátil y reducido. Por lo cual en el sitio sólo se hicieron las grabaciones y el análisis en el laboratorio
4. ¿Qué información acústica se requiere?
Se requiere conocer los niveles de presión sonora en escala lineal, en ponderación A y un análisis en bandas de frecuencia de una octava.

5. ¿Con qué precisión debe ser obtenida la información que se requiere?

Con la mayor precisión que se pueda; sin embargo, esto depende fundamentalmente de las características del ruido que se encuentre en el sitio.

6. ¿Cuándo se deben hacer las mediciones?

Cuando el usuario se encuentra en el sitio de estudio, concretamente, en el horario de consulta médica, pueden hacerse en el turno matutino o vespertino.

7. ¿Cuáles son las principales fuentes que se piensa que contribuyen a generar el ruido?

Básicamente las fuentes de ruido se encuentran en el interior del sitio, y estas derivan de las propias actividades de los trabajadores, pacientes y acompañantes de éstos, también son fuente de ruido las televisiones, máquinas de escribir, entre otras. En algunos casos las fuentes provienen del exterior, y son por ejemplo, el tránsito vehicular y vendedores ambulantes.

8. ¿Las fuentes de ruido cambian significativamente con el tiempo?

No, básicamente son las mismas durante todo el horario de consulta.

El objetivo de realizar las mediciones es evaluar si las condiciones de ruido ambiental en dichas salas de espera, en horarios de atención al paciente son las adecuadas de un lugar que debe ser tranquilo para los usuarios, de acuerdo con normas locales y recomendaciones de algunos autores y organismos internacionales.

Con base en la información anterior se eligió el sistema de medición mostrado en la figura 9, éste consistió en un determinado número de instrumentos interconectados que permiten captar, registrar, analizar y visualizar las señales. La captación de dichas señales se realizó con un micrófono, el registro con una audiógrabadora digital y el análisis se efectuó posteriormente en laboratorio como se indica más adelante.

¹⁵ Cyril M. Harris (editor) *Handbook of Noise Control*, 1979, p. 6-1



Figura 9. Sistema de medición.

Los instrumentos que se usaron en la medición son los siguientes:

Micrófono

Debido a que el campo sonoro donde se realizaron las mediciones es un espacio donde el sonido procede de todas las direcciones, el micrófono que se utilizó fue de incidencia aleatoria, también llamado *de campo difuso* (figura 10a); este tiene una respuesta uniforme a las ondas sonoras independientemente de la dirección de la que procedan. En la medición se utilizó un micrófono de precisión de condensador, marca B&K, modelo 4134.

Preamplificador

El micrófono descrito arriba se conecta al resto del sistema de medición a través de un preamplificador (figura 10b), cuya función es la amplificación de la señal que está entrando al micrófono.



Figura 10. a. Micrófono de campo difuso, b. Micrófono de campo difuso con extensión y preamplificador.

Fuente de poder para micrófono

Se trata de una fuente de poder que además de incrementar la señal que se está captando, tiene la función de proporcionar la tensión de polarización, es decir, que la membrana del micrófono se encuentre a un voltaje determinado.

Audiograbadora DAT (Digital Audio Tape)

Este tipo de audiograbadora permite hacer una grabación con gran precisión, esto significa que la señal es almacenada de forma completa y con una distorsión muy reducida. En la medición se utilizó la audiograbadora marca SONY modelo TCD-D10PROII mostrada en la figura 11.



Figura 11. Audiograbadora DAT.

Analizador de señales de tiempo real de filtros paralelos

Es un instrumento de medición capaz de descomponer un ruido en diversas bandas de frecuencias, indicando en la pantalla el espectro de la señal, donde se lee el nivel de presión sonora global, y el nivel correspondiente a cada una de las bandas seleccionadas. Para el estudio del ruido medido se utilizó el analizador de frecuencia de tiempo real marca B&K modelo 2133 mostrado en la figura 12, éste tiene incluidos los filtros de ponderación A.



Figura 12. Analizador de frecuencia de tiempo real.

El proceso de la medición se realizó como se describe a continuación.

Calibración de la medición

La característica más importante de cualquier aparato de medición es la sensibilidad, esta puede ser definida como la comparación del parámetro de entrada con el parámetro de salida.

Para determinar la sensibilidad del micrófono es necesario calibrarlo, esto consiste en aplicar al micrófono, mediante un calibrador de nivel sonoro (figura 13), la señal de un nivel de presión constante y conocido y de una frecuencia fija para lograr lo siguiente:

- a) asegurar que las mediciones están correctas;
- b) probar que el método de medición y el equipo usado cumple con los requerimientos de normas nacionales.
- c) adecuar el equipo a las condiciones de presión y temperatura del lugar

La calibración se realizó antes de las mediciones y al término de las mismas y se realizó con el calibrador mostrado en la figura 13. Para las condiciones de la Ciudad de México el nivel de presión aplicado fue de 93.8 dB a una frecuencia de 1000 Hz, esta señal se grabó para posteriormente reproducirla en el analizador de frecuencia y determinar el factor de calibración que más adelante se indica.



Figura 13. Calibrador de nivel sonoro marca B&K, modelo 4230.

Elección de los puntos de medición

En función la distribución de los asientos y del tamaño de las salas de espera se eligió los puntos de medición (figuras 4 a 8), de tal manera que estos cubrieran la totalidad del área y que fueran representativos de lo que el usuario percibe. Se trató de no perturbar a las personas presentes; por lo cual no se incluyeron posiciones entre las filas de asientos.

Posición del micrófono

El micrófono se colocó en un tripié y este a aproximadamente 1 m. de cualquier objeto o superficie para minimizar el efecto de las reflexiones. Debido a que el objeto de la medición es evaluar las condiciones ambientales del sitio, bajo las que se encuentran los usuarios, el micrófono se colocó a la altura de la cabeza de las personas sentadas, aproximadamente a 1.15 m del piso. La orientación no fue de importancia debido a que el tipo de micrófono utilizado tiene una respuesta uniforme a las ondas sonoras, independientemente de la dirección que procedan.

Registro del ruido ambiental

En todos los puntos definidos para cada sala de espera se realizaron cuatro registros del ruido, de un minuto cada uno y con un intervalo de tiempo entre un registro y otro que fue el necesario para hacer el recorrido en el resto de los puntos. Este se realizó en las fechas y horarios indicados en la tabla 1.

Tabla 1. Registro del ruido ambiental

Unidad médica	Fecha	horario
Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8.	Lunes 24-11-03	11:20-14:24
Hospital de Gineco obstetricia Dr. Luis Castelazo Ayala.	Lunes 16-02-04	10:47-11:36
Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos	Lunes 26-01-04	11:03-12:06
Centro Médico Nacional 20 de Noviembre	Lunes 9-02-04	11:25-12:25

Análisis de la grabación

Para el análisis de los niveles de ruido, la grabadora se conectó al analizador de señales de tiempo real. Primero se reprodujo la señal de calibración. Ahí se determinó que el factor de ajuste para lograr la calibración de la medición fue igual a -5.1 dB y este factor se aplicó a todos los datos obtenidos del análisis de las diferentes grabaciones. Posteriormente se reprodujo la grabación de cada uno de los puntos de medición y se obtuvo su espectro en frecuencia para las bandas de 1 octava con frecuencias centrales de 0.31, 0.63, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 y 16 kHz.

También se obtuvo el valor promedio del nivel de presión sonora global (dB) y en ponderación A (dB A). La información obtenida se extrajo del analizador para posteriormente realizar gráficas y tablas de los niveles de ruido de cada uno de los puntos de medición en el programa MATLAB.

3.4 Parámetros para el análisis del ruido medido

Existen varios autores y organismos nacionales e internacionales¹⁶ que difunden normas y guías donde establecen valores recomendables y máximos de ruido que no deben superarse en diferentes espacios arquitectónicos. En algunos casos se establece un único valor para un género de edificio, en otros se especifica un valor para cada espacio que conforma un género de edificio¹⁷ y en otros se da un valor de acuerdo a la actividad que se desarrolla en un espacio.

Para el caso concreto de edificios para la salud algunos autores han definido valores para estos espacios de diferente forma. Manuel Recuero establece un valor único para hospitales definido con curvas NR, NC y PNC¹⁸, así como un valor

para zonas de estancia de edificios sanitarios¹⁹ en dB (A). William J. Cavanaugh²⁰ da valores para espacios para la salud separados en dos grupos a) laboratorios, clínicas y salas de espera, b) hospitales, para ambos casos el valor lo da con referencia a curvas NC y en dB (A). Leo L. Beranek²¹ da valores definidos con curvas NCB y una aproximación en dB (A) para el siguiente grupo de espacios: recámaras, áreas para dormir, hospitales, casa habitación, departamentos, hoteles y moteles, y especifica que son áreas para dormir, de descanso y relajantes.

En la tabla 2 se muestran los valores recomendados por los autores arriba citados en dB (A) para espacios para la salud. El valor menor representa el nivel recomendado y el mayor representa el nivel máximo permitido.

Tabla 2. Valores de ruido sugeridos por algunos autores para espacios para la salud.

Autor	dB (A)
M. Recuero: edificio sanitario, zonas de estancia.	45
W. J. Cavanaugh: laboratorios, clínicas, salas de espera para pacientes (curvas NC 40-50)	47-56
hospitales (curvas NC-25-35)	34-42
L. L. Beranek: hospitales: espacios para dormir, de descanso y relajamiento (curvas NCB 25-40)	33-48

El caso de estudio de este trabajo de investigación son las salas de espera de edificios para la salud; pero para este espacio en concreto solamente W.J. Cavanaugh establece niveles de ruido recomendable y máximo permitido. Sin embargo; no me parece adecuado tomar esos valores como referencia porque el nivel máximo que permite (56 dB (A)) es un nivel considerado por la OMS como *muy ruidoso*,²² que no se sería adecuado para las salas de espera de edificios para la salud donde se requiere ambientes tranquilos.

¹⁹ Manuel Recuero, *Ingeniería Acústica*, p. 434.

²⁰ Cavanaugh, op. cit. p.

²¹ Leo L. Beranek, *Noise and Vibration Control Engineering*, p.633.

²² Fausto Rodríguez, *Confort acústico*, 5º. Congreso de Acústica, Septiembre, 1998. Apud. *El ruido*, Criterios de salud ambiental 12, Organización Mundial de la Salud, ONU, Washington, 1983.

¹⁶ William J. Cavanaugh, *Architectural Acoustics*, p.44.

¹⁷ Vid supra, tabla 9, capítulo 1.

¹⁸ Manuel Recuero, *Acústica Arquitectónica Aplicada*, p. 128.

En varias normas en diferentes países también se han fijado valores para los espacios para la salud. En la tabla 3 se muestran los valores para espacios para la salud establecidos en la norma NMX-C-207-1977, en la norma australiana 2107-1977 y en el estándar de ANSI (The American National Standards Institute) S12.2-1995 (R1999).

Tabla 3. Valores de ruido establecidos en algunas normas para espacios para la salud.

Norma		dB (A) ²³
Norma mexicana NMX-C 207-1977: Salas de espera (valor máximo curva PNC-50)		56
Norma Australiana 2107-1977: Salas de espera:		40-50
ANSI S12.2-1995 (R1999) HOSPITALES Y CLÍNICAS:	Curva NCB	
Cuartos privados	25-30	33-38
Salas de recuperación	30-35	38-43
Quirófanos	25-30	33-38
Laboratorios	33-43	41-51
Corredores	33-43	41-51
Áreas públicas	38-43	46-51

Se ha mencionado que la norma NMX-C-207-1977 es la única norma mexicana relacionada con niveles de ruido permitidos en los espacios arquitectónicos; sin embargo el análisis del ruido medido en las salas de espera no se apoyará en ella por razones ya expuestas.²⁴

El valor mínimo de la norma australiana está dentro de lo que la OMS considera como un nivel moderado, el valor máximo está considerado por este mismo organismo como un nivel ruidoso. Sin embargo para otros autores como D.A Bies y C.H. Hansen²⁵ este nivel representa un ambiente moderadamente ruidoso.

The American National Standards Institute es un organismo que se enfoca a definir parámetros científicos y criterios usados en el análisis acústico de recintos y continuamente revisa sus estándares, como es el caso del estándar ANSI 12.2-1995 (R1999), *Criteria for Evaluating Room*

Noise, éste es la reafirmación de ANSI S12.2-1995 y se tiene programado revisarlo nuevamente en el año 2004.

En ANSI S12.2-1995 (R1999) se establecen dos métodos para valorar el sonido en recintos, que consisten en la evaluación del espectro del nivel de presión sonora medido en bandas de octava, utilizando las curvas de valoración del ruido NCB y RC y proporciona una guía de niveles de sonido aceptables en diferentes tipos de espacios definidos por curvas NCB²⁶.

Por las características de las curvas NCB²⁷ y por la actualización del estándar ANSI S12.2-1995 (R1999) la evaluación del ruido medido se apoyará en éste.

Las áreas de edificios para la salud, para las que ANSI establece valores (tabla 3) no incluyen el espacio de salas de espera como tal; sin embargo, varios autores de libros que se refieren al diseño de edificios para la salud en E.U y en México señalan que las salas de espera son espacios donde se mezclan diferentes actividades y que alojan tanto a trabajadores como a pacientes y a familiares o acompañantes de éstos últimos, por lo que son consideradas como áreas públicas del edificio para la salud.

Con base en lo anterior se tomarán los valores que establece ANSI para áreas públicas como referencia para la evaluación del ruido medido en las salas de espera de la muestra de edificios para la salud. Además estos valores están dentro de lo que consideran D.A. Bies y C.H. Hansen como un ambiente moderadamente ruidoso y éstos, desde mi punto de vista, podrían ser los adecuados para las salas de espera porque, si bien he dicho que es un área que requiere un ambiente tranquilo, por las actividades que ahí se realizan no puede ser demasiado restrictivo en los niveles de ruido permitidos.

²³ Aproximación que hace L. L. Beranek. Beranek, op. cit.

²⁴ Vid supra, Normas, capítulo 2.

²⁵ Vid supra tabla 8, capítulo 1.

²⁶ Vid supra, tabla 9, capítulo 1.

²⁷ Vid supra, criterios para evaluar el ruido en espacios interiores, capítulo 1.

3.5 Presentación de los resultados

En las tablas 4 a 7 se muestran los resultados de las cuatro mediciones realizadas en cada una de las unidades médicas de la muestra y en estas se indica lo siguiente:

- a) el número del punto que indica el sitio exacto en la sala de espera donde se colocó el micrófono para hacer el registro del ruido;²⁸
- b) la hora en que se realizó el registro;
- c) el Nivel de Presión Sonora (NPS) equivalente durante un minuto (L_{Aeq});
- d) por último se indica un valor llamado *exceso* en dB (A), que representa la diferencia entre el valor máximo recomendado en ANSI S12.2, (51 dB (A)) para la curva NCB-43 y el valor medido en el sitio de estudio (L_{Aeq});
- e) los valores enmarcados indican el menor *exceso* en cada medición;
- f) los valores sombreados indican el mayor *exceso* en cada medición y el tono de sombra representa el nivel de *exceso* considerando las cuatro mediciones, es decir, el valor con sombra más oscura es el que tiene mayor *exceso* y el que se representa con menor sombra tiene menor *exceso*.

A continuación de cada una de las 4 tablas de datos de las mediciones se presentan las gráficas corresponden a los puntos donde se registraron los mayores niveles de ruido de cada medición (valores sombreados en las tablas).

Cada una de las gráficas tienen la siguiente información:

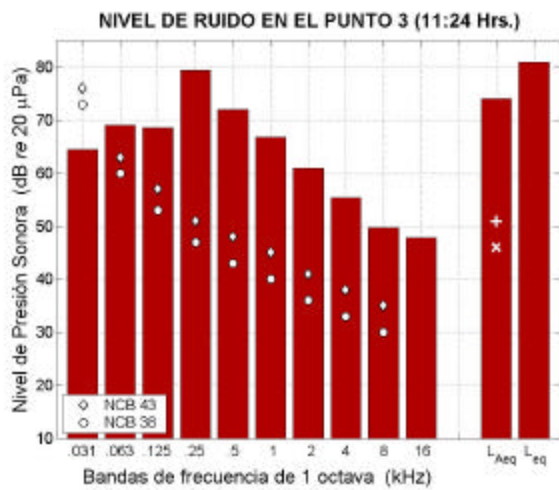
- a) los valores del Nivel de Presión Sonora del ruido medido en dB (re 20 μ Pa) para las bandas de frecuencia de 1 octava de 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 y 16000 Hz;
 - b) los valores del Nivel de Presión Sonora correspondientes a las curvas NCB-38 (valores recomendados) marcados con el símbolo \square y NCB-43 (valores máximos sugeridos) indicados con el símbolo \triangle , para las bandas de 1 octava de 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, y 8000 Hz;
 - c) la penúltima columna graficada muestra el Nivel de Presión Sonoro equivalente durante un minuto en ponderación A (L_{Aeq}), en esta columna se marca con el símbolo \times el valor aproximado, en dB (A), correspondiente a la curva NCB-38 y con el símbolo $+$ el de la curva NCB-43.
- De esta forma se puede observar el *exceso* que hay en el nivel de ruido medido respecto a lo recomendado y máximo permitido por ANSI S12.2-1995 (R1999).
- d) la última columna graficada muestra en Nivel de Presión Sonoro equivalente durante un minuto en escala lineal (L_{eq}).

²⁸ Vid supra, planos de cada unidad médica al inicio de este capítulo.

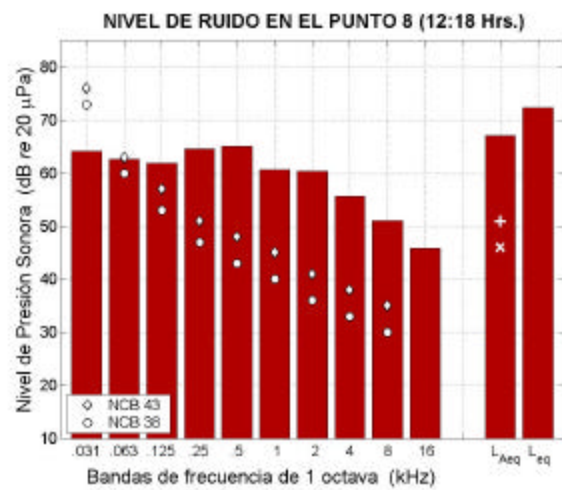
Tabla 4. Mediciones en el Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8.

Punto	MEDICIÓN 1			MEDICIÓN 2			MEDICIÓN 3			MEDICIÓN 4		
	Hora	L _{Aeq}	Exceso	Hora	L _{Aeq}	Exceso	Hora	L _{Aeq}	Exceso	Hora	L _{Aeq}	Exceso
1	11:20	68,8	17,8	12:02	66,1	15,1	12:43	65,3	14,3	13:45	65,3	14,3
2	11:22	66,5	15,5	12:04	64,0	13,0	12:45	65,0	14,0	13:47	65,6	14,6
3	11:24	74,1	* 23,1 *	12:06	66,1	15,1	12:51	63,3	12,3	13:49	66,5	15,5
4	11:26	70,8	19,8	12:08	64,2	13,2	12:53	64,4	13,4	13:53	69,6	18,6
5	11:28	67,0	16,0	12:10	62,8	11,8	12:55	61,7	10,7	13:55	68,3	17,3
6	11:30	65,1	14,1	12:12	57,4	* 6,4 *	12:57	60,5	9,5	13:58	65,4	14,4
7	11:34	65,1	14,1	12:16	67,0	16,0	13:02	67,2	16,2	14:01	66,4	15,4
8	11:36	65,1	14,1	12:18	67,1	16,1	13:04	67,4	16,4	14:03	64,4	13,4
9	11:38	68,3	17,3	12:20	66,1	15,1	13:06	63,5	12,5	14:06	65,4	14,4
10	11:40	67,7	16,7	12:23	66,1	15,1	13:15	64,1	13,1	14:08	64,2	13,2
11	11:42	65,6	14,6	12:25	66,4	15,4	13:17	64,8	13,8	14:15	68,5	17,5
12	11:44	65,7	14,7	12:27	63,5	12,5	13:19	63,8	12,8	14:20	67,5	16,5
13	11:46	64,3	13,3	12:29	62,8	11,8	13:21	65,4	14,4	14:22	59,5	8,5
14	11:48	61,8	10,8	12:31	61,2	10,2	13:23	60,7	9,7	14:24	63,7	12,7

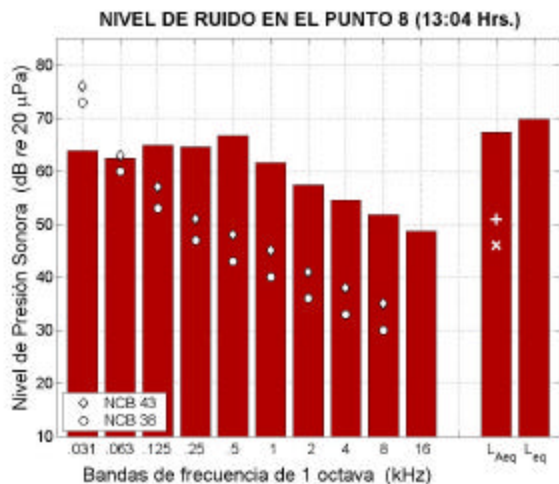
MEDICIÓN 1



MEDICIÓN 2



MEDICIÓN 3



MEDICIÓN 4

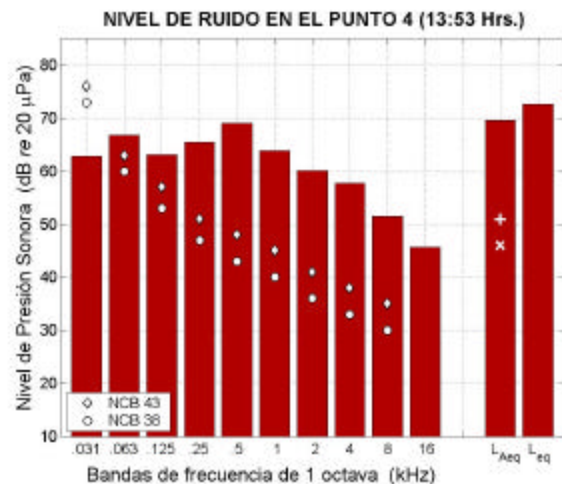
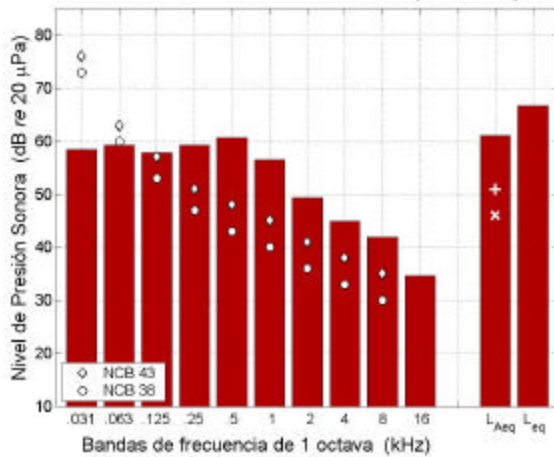


Tabla 5. Mediciones en el Hospital de Gineco obstetricia Dr. Luis Castelazo Ayala.

Punto	MEDICIÓN 1			MEDICIÓN 2			MEDICIÓN 3			MEDICIÓN 4		
	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*
1	10:47	59,0	8,0	11:03	59,7	8,7	11:15	56,5	5,5	11:26	56,8	5,8
2	10:49	59,0	8,0	11:05	61,3	10,3	11:16	62,8	" 11,8 "	11:27	57,6	6,6
3	10:50	60,2	9,2	11:06	59,5	8,5	11:17	59,4	8,4	11:29	60,1	9,1
4	10:55	60,3	9,3	11:08	58,4	7,4	11:19	57,9	6,9	11:30	58,7	7,7
5	10:57	58,2	7,2	11:09	56,9	5,9	11:20	57,1	6,1	11:31	56,3	* 5,3 *
6	10:58	58,3	7,3	11:10	58,7	7,7	11:21	58,4	7,4	11:33	54,7	3,7
7	11:00	59,5	8,5	11:12	57,7	6,7	11:23	60,0	9,0	11:34	58,1	7,1
8	11:01	61,1	10,1	11:13	59,0	8,0	11:24	57,6	6,6	11:36	56,4	5,4

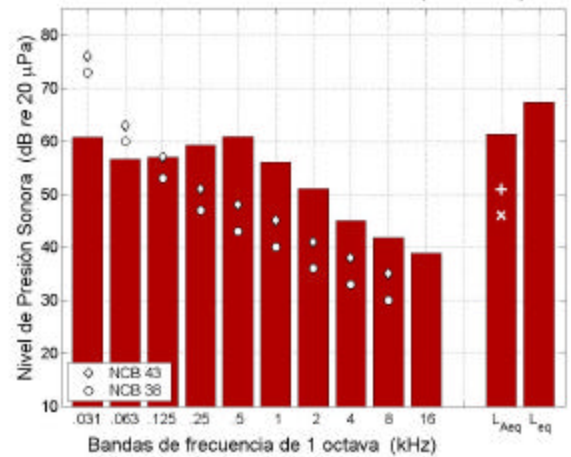
MEDICIÓN 1

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 8 (11:01 Hrs.)



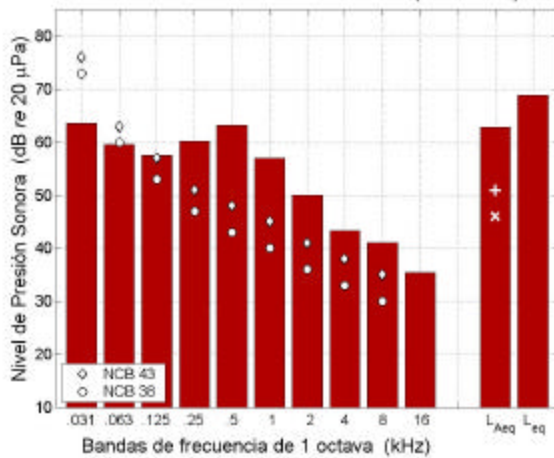
MEDICIÓN 2

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 2 (11:05 Hrs.)



MEDICIÓN 3

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 2 (11:16 Hrs.)



MEDICIÓN 4

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 3 (11:29 Hrs.)

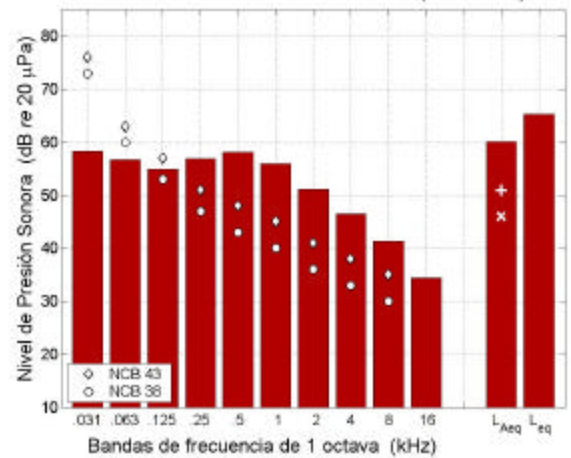


Tabla 6. Mediciones en el Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos.

Punto	MEDICIÓN 1			MEDICIÓN 2			MEDICIÓN 3			MEDICIÓN 4		
	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*
1	11:09	57,5	6,5	11:25	56,2	5,2	11:42	62,6	11,6	11:59	58,8	7,8
2	11:11	61,4	10,4	11:27	57,4	6,4	11:43	54,6	* 3,6 *	12:00	59,1	8,1
3	11:12	58,5	7,5	11:29	58,9	7,9	11:44	60,5	9,5	12:02	59,2	8,2
4	11:14	63,7	" 12,7 "	11:30	57,7	6,7	11:46	61,3	10,3	12:03	57,7	6,7
5	11:15	61,9	10,9	11:32	58,2	7,2	11:47	58,4	7,4	12:04	55,6	4,6
6	11:17	56,2	5,2	11:33	56,4	5,4	11:49	60,7	9,7	12:06	58,1	7,1

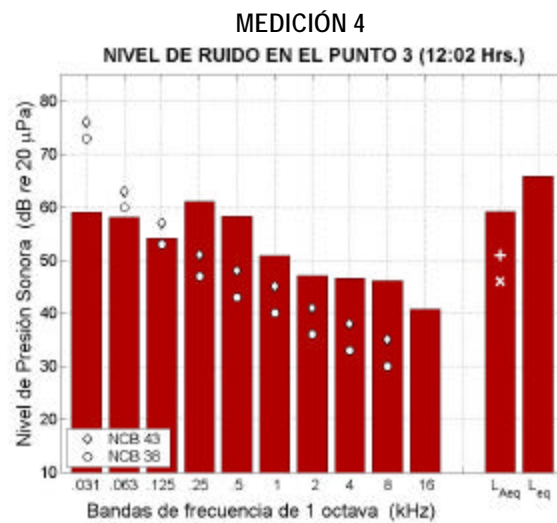
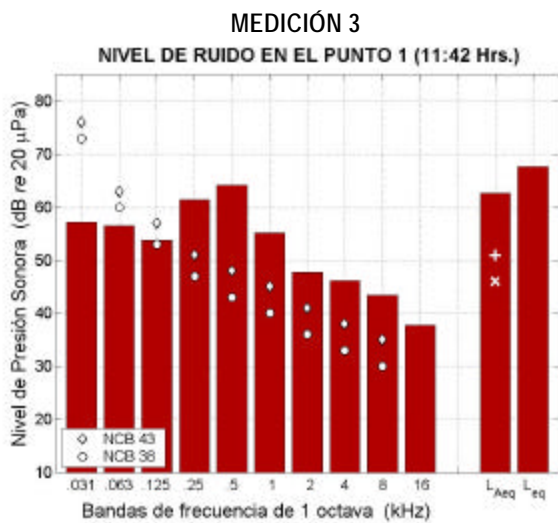
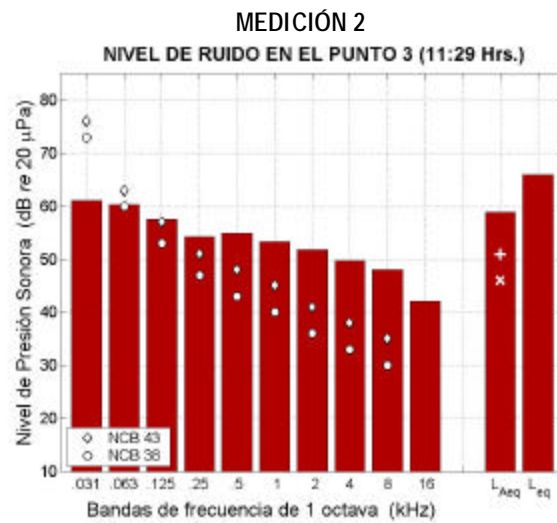
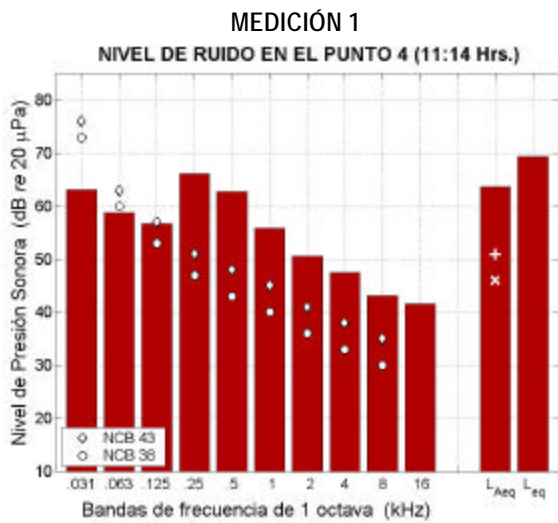
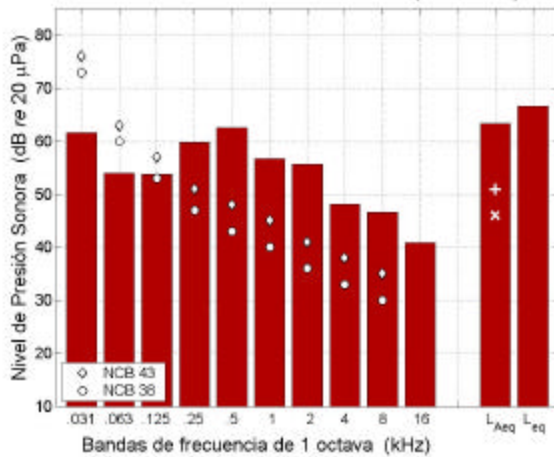


Tabla 7. Mediciones en el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre.

Punto	MEDICIÓN 1			MEDICIÓN 2			MEDICIÓN 3			MEDICIÓN 4		
	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*	Hora	L _{Aeq}	Exceso*
1	11:25	59,1	8,1	11:42	61,0	10,0	11:57	65,1	" 14,1 "	12:13	55,9	4,9
2	11:26	60,4	9,4	11:44	64,6	13,6	11:59	62,2	11,2	12:14	57,1	6,1
3	11:28	59,5	8,5	11:45	65,0	14,0	12:00	60,3	9,3	12:16	64,7	13,7
4	11:29	58,6	7,6	11:46	64,8	13,8	12:02	58,4	7,4	12:17	56,4	5,4
5	11:31	61,4	10,4	11:48	62,6	11,6	12:03	58,2	7,2	12:18	54,4	3,4
6	11:35	63,4	12,4	11:49	57,0	6,0	12:05	60,5	9,5	12:20	60,3	9,3
7	11:36	57,1	6,1	11:51	60,7	9,7	12:07	61,0	10,0	12:21	56,4	5,4
8	11:38	54,5	3,5	11:52	60,2	9,2	12:09	59,1	8,1	12:22	58,1	7,1
9	11:39	56,5	5,5	11:54	60,2	9,2	12:10	60,4	9,4	12:24	57,9	6,9
10	11:41	53,7	* 2,7 *	11:55	56,3	5,3	12:11	59,2	8,2	12:25	57,4	6,4

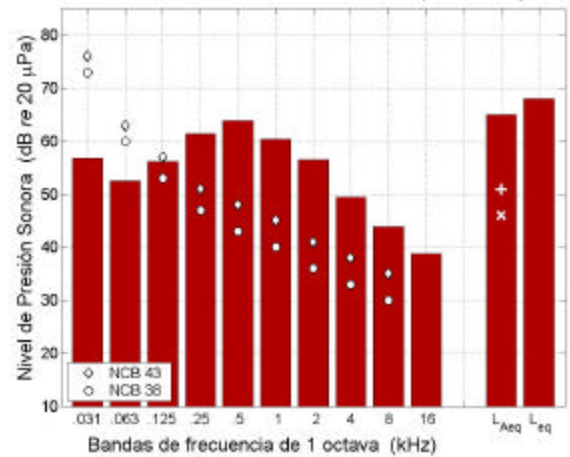
MEDICIÓN 1

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 6 (11:35 Hrs.)



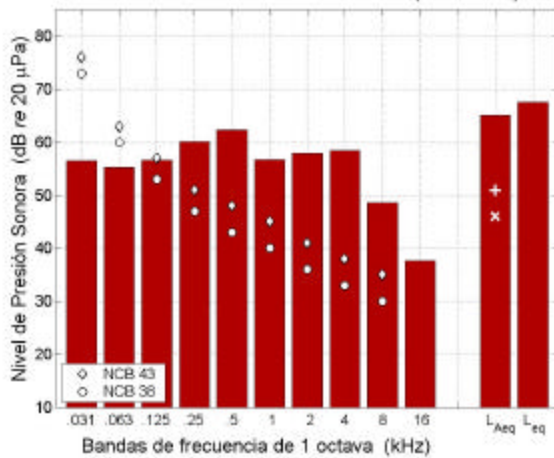
MEDICIÓN 2

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 3 (11:45 Hrs.)



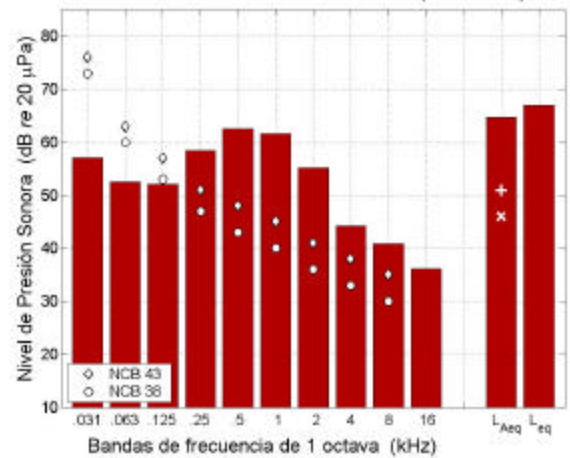
MEDICIÓN 3

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 1 (11:57 Hrs.)



MEDICIÓN 4

NIVEL DE RUIDO EN EL PUNTO 3 (12:16 Hrs.)



3.6 Evaluación de los resultados

El control del ruido requiere ante todo del conocimiento de las fuentes de ruido y de las características del sonido que se pretende atenuar; esta información es de vital importancia porque ayuda a precisar el método de ataque que se debe emplear. Para definir dicho método, en el caso concreto de las salas de espera, se presenta a continuación conclusiones obtenidas de las mediciones realizadas, las cuales servirán de base para elegir el método más apropiado para el control del ruido.

El ruido presente en las salas de espera de las cuatro unidades médicas tiene su origen generalmente en las actividades realizadas en el interior de las áreas de estudio, en un área interior contigua, y en menor medida es transmitido del exterior. El ruido está generado principalmente por las siguientes fuentes:

1. En el área de estudio y en áreas contiguas el ruido se origina por: personas hablando, niños llorando o gritando, televisores, máquinas de escribir, teléfonos, golpeteo de puertas, elevadores, venta de comida, libros y revistas y pasos de los usuarios.
2. El ruido que se transmite del exterior es causado principalmente por el tránsito vehicular y en el caso del Hospital de Gineco obstetricia por obras en construcción cerca de esta unidad médica, en particular, cerca del punto de medición número 2 (ver figura 6). En la tabla 4 se observa que en este punto se registran los niveles más altos de las mediciones 2 y 3, esto es porque en el momento de la medición se registró el ruido originado en el interior y el provocado por la obra en construcción. En la medición 4 el nivel de ruido disminuyó debido a que en la sala se redujeron las fuentes de ruido (ya no había pacientes) y sólo se registró el ruido transmitido del exterior.

En el caso de las unidades médicas del IMSS, las salas de espera se localizan cerca de un eje vial muy transitado (eje 10 sur Río de la Magdalena); sin embargo, la conformación de las fachadas ayuda en gran medida a disminuir la transmisión del ruido exterior. Los materiales de construcción usados en los muros son rígidos y masivos (funcionan como materiales aislantes). Las ventanas sólo tienen pequeñas ventilas en algunas zonas que representan el punto débil de la fachada, desde el punto de vista acústico, porque es por estos elementos que penetra la mayor cantidad del ruido exterior; sin embargo, éste se atenúa con la distancia al llegar a la zona donde se localiza la mayoría de los usuarios. En el caso de las salas del ISSSTE, estas no se encuentran sobre las avenidas y están protegidas del ruido exterior por muros de otras áreas.

Las tablas y gráficas de resultados de las mediciones del ruido, mostradas en el subcapítulo anterior, indican lo siguiente:

a) En general, el punto que registra el nivel de presión sonora mayor y el menor no es el mismo en las 4 mediciones realizadas en ese punto, esto se explica por el hecho de que, la mayor fuente de ruido son las personas hablando, y como el número de éstas en ningún caso fue constante y las que llegaban no siempre se ubicaban en el mismo sitio que las anteriores, entonces el mayor y menor NPS variaba de una medición a otra.

b) El valor **máximo** de NPS equivalente (de la banda de una octava de 31.5 Hz a la banda de una octava de 16 kHz), durante un minuto, que se registró en cada unidad médica es el siguiente:

- Hospital de Zona/UMF No. 8: **74.1 dB (A)**
- Hospital de Gineco obstetricia: **62.8 dB (A)**
- Hospital Adolfo López Mateos: **63.7 dB (A)**
- Centro Médico 20 de Noviembre: **65.1 dB (A)**

Estos niveles, representan la percepción de un ambiente, de acuerdo con la estimación que hacen D.A. Bies y C.H. Hansen,²⁹ y para la OMS, *muy ruidosa*.³⁰

El valor de 74.1 dB (A) registrado en las salas de espera del hospital de Zona/UMF No. 8 se debe en gran medida a que en el momento de las mediciones se encontraba un grupo de médicos y enfermeras presentando programas de medicina preventiva con ayuda de un televisor, cuyo volumen era relativamente alto.

c) En todos los puntos de medición de las cuatro unidades médicas existe un exceso.³¹ Aunque en algunos casos este valor no representa un problema grave³² como es en el caso donde los valores son mínimos. Por ejemplo, para cada unidad estos valores son los siguientes, (en las tablas 4-7 los valores están entre asteriscos):

- Hospital de Zona/UMF No. 8: **6.4** dB (A)
- Hospital de Gineco obstetricia: **5.3** dB (A)
- Hospital Adolfo López Mateos: **3.6** dB (A)
- Centro Médico 20 de Noviembre: **2.7** dB (A)

d) Los valores de mayor exceso registrados en cada unidad médica, que sí representan un problema de percepción de ruido en los usuarios, son los siguientes, (en las tablas 4-7 los valores están entre comillas):

- Hospital de Zona/UMF No. 8: **23.1** dB (A)
- Hospital de Gineco obstetricia: **11.8** dB (A)
- Hospital Adolfo López Mateos: **12.7** dB (A)
- Centro Médico 20 de Noviembre: **14.1** dB (A)

El efecto subjetivo de estos excesos en las personas, indica que, cuando hay un cambio (incremento en este caso) en el nivel sonoro de 10 dB, éste se percibe aproximadamente como dos

veces más ruidoso y un cambio (incremento) de 20 dB se percibe como cuatro veces más fuerte.

Esto indica entonces, que los excesos mostrados arriba representan un problema porque el ambiente seguramente es percibido por el usuario como ruidoso, además, de acuerdo con las fuentes citadas, el nivel de presión sonora medido sobrepasa los niveles recomendados para un ambiente moderadamente ruidoso.

Sin embargo, no debe olvidarse que no existen estudios que evalúen cuándo o bajo qué circunstancias, la población mexicana que vive en la Ciudad de México, considera un ambiente como: muy tranquilo, tranquilo, ruidoso, moderadamente ruidoso o muy ruidoso.

e) En las mediciones de las cuatro unidades médicas se observa (ver gráficas de mediciones de ruido en páginas 56 a 59), en las frecuencias de 31.5 y 63 Hz, niveles de presión relativamente altos (para los que el oído humano ya es sensible en dichas frecuencias); sin embargo, esto no representa un problema grave por las siguientes razones:

- Para la curva NCB-43 los niveles de presión sonora a bajas frecuencias son siempre más elevados que los correspondientes a frecuencias altas debido a que el oído es menos sensible a medida que la frecuencia considerada es menor.

- En ningún caso se sobrepasa la curva NCB-43 en la banda de 31.5 Hz y sólo en dos mediciones del Hospital de Zona/UMF No. 8 (las que registraron el mayor exceso) se sobrepasa dicha curva en la banda de 63 Hz por lo que el nivel de presión sonora, en general, está dentro de lo que se ha establecido como máximo permitido. Lo cual indica que existe poca probabilidad de que este ruido cause molestia en los usuarios.

²⁹ Vid supra, nivel de sonido ponderado en Capítulo 1.

³⁰ Rodríguez, op. cit.

³¹ La forma cómo se determinó este valor se explicó en el inciso d, del subcapítulo 3.3

³² Vid supra, percepción del sonido en el capítulo 1.

- el nivel de presión sonora en la banda de 31.5 Hz, en ninguna medición de las cuatro unidades médicas, sobrepasa los 65 dB, y en la banda de 63 Hz no sobrepasa los 70 dB; por lo tanto, éste ruido tiene pocas probabilidades de causar vibración.³³

f) El nivel de presión sonora medido en las cuatro unidades médicas sobrepasa la curva NCB-38, desde la banda abajo indicada para cada unidad médica, hasta la banda de 8 kHz.

- Hospital de Zona/UMF No. 8: **63 Hz**
- Hospital de Gineco obstetricia: **125 Hz**
- Hospital Adolfo López Mateos: **125 Hz**
- Centro Médico 20 de Noviembre: **125 Hz**

Se ha dicho que el ruido en bajas frecuencias (bandas indicadas arriba para cada hospital) podría no representar problema en la percepción de los usuarios; sin embargo, el NPS también se sobrepasa en la zona de frecuencias donde es más sensible el oído (entre 2 y 5 kHz, aproximadamente) por lo que el ruido en estas bandas muy probablemente podría causar molestia en el usuario.

g) En general, para los cuatro casos estudiados, los máximos valores del nivel de presión sonora, se encuentran en la frecuencia de 500 Hz, y en menor medida en las de 1000, 250 y 125 Hz.

Esto se explica por el hecho de que, la mayor fuente de ruido son las personas hablando y el porcentaje de la contribución al nivel de la voz es alto en estas frecuencias como se puede observar en la tabla 8.

La frecuencia que tiene el mayor porcentaje de contribución al nivel de voz es la de 500 Hz, que es precisamente donde se registraron los mayores niveles de presión sonora en las cuatro unidades médicas.

Tabla 8. Contribución al nivel de voz.³⁴

Frecuencia (Hz)	(%)
125	7
250	22
500	46
1000	20
2000	3
4000	2

h) En general, para las cuatro unidades médicas el nivel de presión sonora decrece a partir de la frecuencia de 500 Hz hasta la frecuencia de 16 kHz, que es donde se registraron los niveles de presión más bajos. Para niveles bajos el oído también presenta una cierta atenuación a altas frecuencias por lo que el ruido en esta frecuencia es poco probable que moleste al usuario.

Una vez conocida la información de las fuentes y las características del ruido se puede especificar el método para reducir los niveles de presión sonora.

Considerando que las mayores fuentes de ruido se encuentran en el interior de los recintos analizados, la propuesta para reducir el ruido en las salas de espera es principalmente mediante el acondicionamiento acústico del recinto y en el caso de las unidades médicas del IMSS se puede complementar con aislamiento acústico.

El acondicionamiento acústico consiste en evitar la reflexión del sonido mediante la absorción sonora de los materiales de recubrimiento de las superficies y debe realizarse en las frecuencias de 125, 250, 500 y 1000 Hz, por ser las que contienen el mayor nivel de presión sonora como se ha visto en los resultados.

El aislamiento acústico consistirá en delimitar las salas de espera, de tal forma que se evite la transmisión de ruido proveniente de zonas contiguas interiores.

³³ Vid supra, curvas de valoración NCB en el capítulo 1.

³⁴ Antoni Carrión, *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*, p. 46.

Materiales acústicos

4.1 Introducción

La reducción de los niveles de ruido en las salas de espera de unidades médicas se puede lograr principalmente mediante el acondicionamiento acústico del recinto; sin embargo, en el caso específico de las dos unidades médicas estudiadas del IMSS (cuyas zonas de espera no están delimitadas de otras áreas ruidosas), se requiere también de aislamiento acústico.

Los materiales empleados en estos dos métodos de control de ruido son diferentes; para el acondicionamiento acústico se requiere de materiales que absorban las ondas sonoras y para el aislamiento se necesitan materiales y técnicas que eviten la transmisión del sonido proveniente de otras áreas.

En este capítulo se considerarán estos dos tipos de materiales, sus propiedades acústicas y los parámetros usados para describir dichas propiedades. Se hará un estudio más profundo de los materiales empleados en la absorción sonora, para su análisis se contó con las facilidades del laboratorio de acústica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM.

En cuanto a los materiales aislantes, solamente se presentan algunos ya estudiados y reportados en la bibliografía existente sobre el tema.

4.2 Absorción del sonido

Uno de los métodos para disminuir el ruido de fuentes sonoras interiores es mediante la absorción sonora de las superficies.

Cuando la fuente sonora está radiando energía dentro de un recinto, las ondas sonoras se propagan en todas direcciones e inciden finalmente sobre las superficies. Si en ese recinto existe algún material capaz de absorber dicha energía, la que se refleje será menor y no podrá ayudar a elevar el nivel sonoro existente.

En la figura 1 se muestra el sonido directo (D), que llega primero al receptor, después de éste llega el sonido que ha incidido sobre las superficies límite y que se ha regresado al ambiente en forma de reflexiones (R_1 , R_2 , R_3 , R_4). Para una fuente que emite ruido en forma continua, la energía de cada una de estas reflexiones se suma a la del sonido directo y aumenta por consiguiente el nivel de presión sonora, como se muestra en la figura 2.

La cantidad de energía sonora que se recibe en un punto en el interior del recinto depende de las características acústicas de sus superficies límite; es decir, si éstas son muy lisas habrá mayor número de reflexiones y mayor será la cantidad de dicha energía; si por el contrario, las superficies son de algún material capaz de absorber energía acústica, entonces la que se refleje será menor y no podrá contribuir a elevar en gran medida el nivel sonoro producido por la radiación directa de la fuente.

La absorción actúa únicamente sobre los ruidos reflejados, a los que elimina en mayor o menor grado; el sonido directo queda en el mismo nivel.

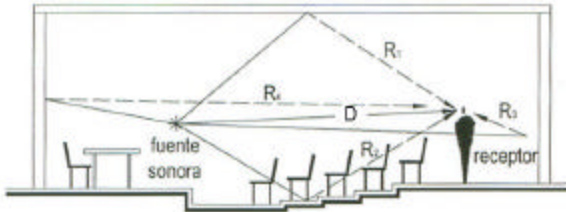


Figura. 1. Sonido que recibe el receptor.

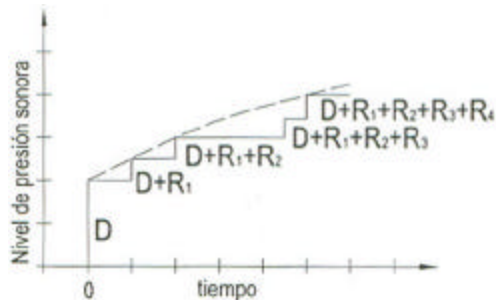


Figura. 2. Nivel de presión sonora en el sitio del receptor.

La absorción se da mediante la transformación de la energía sonora en energía calorífica, este fenómeno se puede explicar con el siguiente ejemplo, que se ilustra en la figura 3.

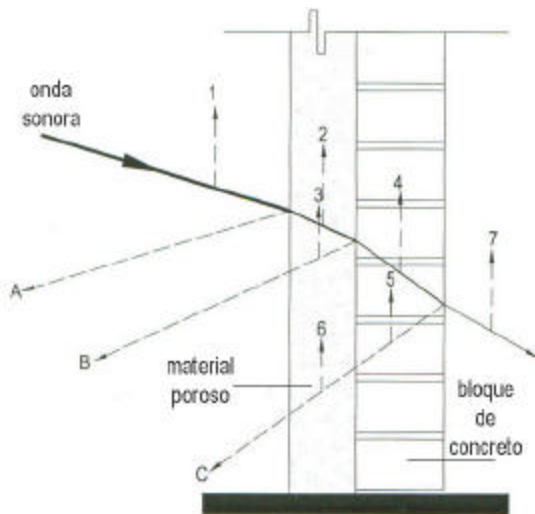


Figura. 3. Absorción sonora en un muro de bloque de concreto con una capa de material poroso.

En el momento en que una onda sonora choca contra el muro ilustrado en la figura 3 suceden los siguientes fenómenos:

a) mientras la onda sonora está viajando por el aire hay una pérdida de la energía acústica por conducción de calor en el aire (1) que es apreciable sólo en frecuencias altas y a distancias relativamente grandes;

b) la onda llega a la superficie del material absorbente, en este momento habrá una primera reflexión (A) que regresa al aire,

c) la onda sonora penetra en el material absorbente, la dirección con la que venía es refractada hacia abajo (alejándose de la normal), debido a que el material es más denso que el aire, y se da una disminución en su energía al transformarse ésta en calor (2) por el efecto de la fricción entre el mismo material y las partículas de aire que están vibrando;

d) la onda sonora choca con la superficie del muro de bloque de concreto, aquí habrá una reflexión que regresa al aire (B) y al pasar por el material absorbente nuevamente pierde energía en forma de calor (3);

e) la onda sonora penetra el muro de concreto, la dirección con la que viaja dentro de éste se aleja aún más de la normal porque este material es más denso que el material absorbente. Dentro del muro también hay pérdidas por calor (4); sin embargo, la mayor parte de la energía incidente es reflejada;

f) la onda sonora sigue viajando y haciéndose cada vez más débil, ésta llega a la frontera entre la parte posterior del muro y el aire, aquí se origina otra reflexión (C) y una última refracción. En este proceso ocurren las pérdidas de calor marcadas en la figura 3 con los números 5, 6 y 7.

La cantidad de energía que se disipa en forma de calor cuando una onda sonora viaja a través de un material absorbente o de un elemento constructivo, depende de varios aspectos: el tipo de material, su forma, espesor, método de montaje, el ángulo de incidencia de las ondas sonoras y frecuencia de la onda acústica.

Cuando el material presenta un gran número de canales o poros a través de los cuales la onda sonora puede penetrar con facilidad, mayor será el rozamiento de las partículas de aire con las paredes de los poros o canales y, como consecuencia, habrá una mayor absorción. Por esta razón los materiales porosos son usados como absorbentes de sonido.

4.3 Coeficiente de absorción (á)

El coeficiente de absorción de un material (á), se define como la razón entre la energía absorbida por éste y la energía incidente; en otras palabras, es la forma de medir su eficiencia de absorción. Este coeficiente puede tener un valor entre 0 y 1.

Los materiales que tienen un coeficiente de absorción alto son aquellos que están formados por sustancias fibrosas o granulares; por ejemplo la fibra de vidrio, espuma de poliuretano, espuma de melamina, lana mineral, entre otros.

Existen varios requerimientos para que el coeficiente de los materiales antes mencionados sea grande:

- a) Los canales de aire deben estar abiertos en la superficie para que las ondas sonoras puedan propagarse dentro del material (materiales no porosos tienen bajo coeficiente de absorción).
- b) Los materiales absorbentes no deben ser pintados porque se cubren los poros y las propiedades de absorción se pierden.

c) Los materiales absorbentes deben ser protegidos para evitar la acumulación de aceite, agua o polvo en su superficie, el material de protección debe ser muy delgado, de tal forma que permita que las ondas sonoras penetren. A estos materiales se les conoce como acústicamente transparentes.

d) La efectividad de los materiales absorbentes de sonido depende de sus características de espesor, porosidad, densidad y de la manera en que están colocados en el recinto.

4.3.1 Variación de la absorción

Variación de la absorción en función del espesor del material

La absorción sonora de un material es baja cuando su espesor es mucho menor comparado con la longitud de onda del sonido y está colocado junto a una superficie rígida.

Cuando el material absorbente está colocado junto a una superficie rígida la velocidad de las partículas de aire es pequeña cerca de dicha superficie y la fricción de las partículas con las paredes de los canales del material es reducida; en consecuencia, la transformación de energía sonora en energía calorífica es mínima.

A medida que la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye, por lo que la velocidad de las partículas se incrementa y la energía disipada es mayor. Por consiguiente, si se incrementa el espesor del material habrá mayor absorción.

La figura 4 muestra la gráfica de los coeficientes de absorción para diferentes espesores de fibra de vidrio (los valores en función de la frecuencia se muestran en la tabla 1) y en ella se observa lo siguiente:

- a) el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia;

b) para altas frecuencias el coeficiente de absorción casi no depende del espesor del material;

c) para frecuencias bajas y medias la absorción aumenta con el espesor.

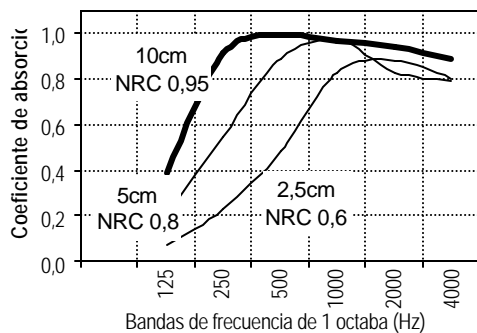


Figura 4. coeficiente de absorción para diferentes espesores de fibra de vidrio

Variación de la absorción en función de la densidad del material

De acuerdo a la densidad del material serán las pérdidas de energía sonora por fricción. Si la densidad es baja, las pérdidas por fricción son pocas y la absorción es reducida. A medida que aumenta la densidad se produce un incremento en la absorción; pero, a partir de un valor límite de la densidad, ésta ya no es eficiente porque reduce la penetración de la onda sonora.

Desde un punto de vista práctico, se ha recomendado que los materiales absorbentes utilizados para fines de acondicionamiento acústico tengan una densidad de entre aproximadamente 40 y 70 kg/m³, no debiéndose superar en ningún caso los 100 kg/m³.¹

¹ Antoni Carrión, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, p.80.

Variación de la absorción en función de la colocación del material

Para lograr un incremento en la absorción a bajas frecuencias no es imprescindible usar materiales de gran espesor, esto se puede lograr con un material de espesor medio, que sea adecuado a las limitantes de funcionalidad, costos o estética.

El material debe ser colocado a una cierta distancia de la pared rígida como se indica en la figura 5. La máxima absorción se registrará en la frecuencia para la cual la distancia "d" del material a la pared es igual a la longitud de onda del sonido entre 4.

$$d = \frac{\lambda}{4} \text{ (en metros)}$$

Donde:

d= separación en m

λ = longitud de onda en m = c/f

Cuanto más grande es la separación "d", menor es la frecuencia a la que la absorción será máxima. Por ello, si se desea aumentar la absorción a bajas frecuencias se debe incrementar la separación entre el material y la pared.

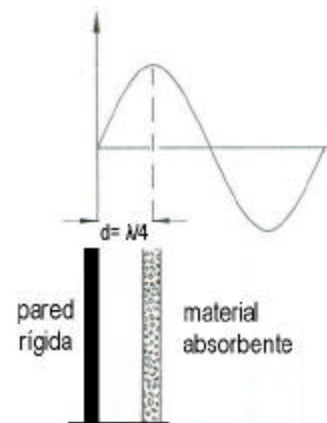


Figura 5. Material absorbente situado a una distancia aproximadamente igual a $\lambda/4$ de la pared rígida.

La tabla 1 muestra el coeficiente de absorción en función de la frecuencia de algunos materiales.

Tabla 1. Coeficiente de absorción de algunos materiales²

Material	Espesor (cm)	Frecuencia (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Agua		0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Aire		0	0	0	0.035	0.07	0.20
Algodón, tela, 465 kg/m ² , colgada lisa		0.04	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
Algodón, tela, 465 kg/m ² , colgada fruncida		0.04	0.23	0.40	0.57	0.53	0.40
Arena húmeda (225 kg de agua / m ³)		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15
Arena seca		0.15	0.35	0.40	0.50	0.55	0.80
Butaca sencilla de madera			0.021	0.026	0.043	0.042	
Butaca totalmente forrada			0.37	0.33	0.36	0.40	
Caucho, alfombra		0.04	0.04	0.07	0.11	0.03	0.01
Corcho, gránulos unidos con aglomerante	2.5	0.12	0.27	0.72	0.90	0.75	0.65
Espectador sala espectáculos		0.15	0.23	0.40	0.56	0.64	
Fibra de vidrio	2.5	0.13	0.30	0.52	0.76	0.79	0.80
Fibra de vidrio	5	0.18	0.55	0.78	0.82	0.82	0.81
Fibra de vidrio	10	0.43	0.98	0.90	0.92	0.88	0.84
Fieltro ligero	1.2	0.02	0.04	0.10	0.21	0.57	0.92
Hormigón, bloques		0.30	0.45	0.30	0.25	0.40	0.25
Hormigón normal		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Hormigón pintado		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Ladrillo, muro con enlucido de yeso		0.013	0.015	0.02	0.028	0.04	0.05
Ladrillo pintado		0.012	0.014	0.017	0.02	0.023	0.025
Lana mineral	2.5	0.06	0.19	0.39	0.54	0.60	0.75
Lana mineral	10	0.42	0.66	0.73	0.74	0.76	0.80
Linóleo	0.65	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Madera barnizada		0.05		0.03		0.03	
Madera ordinaria	2.5		0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Mármol		0.01	0.01	0.01		0.02	
Parquet	1.5	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Revoco, cal-arena	2.0	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
Terciopelo liso colgado en contacto con el muro		0.80	0.29	0.44	0.50	0.40	0.35
Ventana abierta		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vidrio, láminas	0.3-0.5	0.18	0.06	0.01	0.03	0.02	0.02
Yeso, enlucido liso		0.024	0.027	0.03	0.037	0.019	0.034

4.4 Coeficiente de reducción de ruido NRC

En algunos casos, no es necesario conocer todos los valores de los coeficientes de absorción por bandas de frecuencia de un material, por ejemplo, en el caso de que sólo se requiera comparar

materiales se hace uso del coeficiente de reducción de ruido (NRC, Noise Reduction Coefficient) como referencia para tal efecto. El NRC se define como el promedio aritmético de los coeficientes de absorción correspondientes a las bandas de frecuencias centrales de 250, 500, 1000 y 2000 Hz.

² Jaime Llinares Galiana, *Acústica Arquitectónica y Urbanística*, p.183.

El uso de un único número que describe la absorción de un material tiene la ventaja de la simplicidad; sin embargo, no es adecuada su utilización en el diseño acústico debido a que éste se realiza teniendo en cuenta el sonido en bandas de frecuencia.

4.5 Coeficiente medio de absorción y tiempo de reverberación

A partir de los valores del coeficiente de absorción (α) de las superficies límite del recinto (muros, techo y piso), se puede calcular el coeficiente de absorción medio ($\bar{\alpha}$) de todo el recinto. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Donde:

S_1, S_2, \dots, S_n son las áreas de las distintas superficies del recinto cuyos coeficientes de absorción son $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ respectivamente.

Si el área total $S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$, entonces la absorción total es:

$$A = S \bar{\alpha} = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n$$

El producto $S \bar{\alpha}$ se mide en Sabines, si S está en m^2 , entonces el resultado es en Sabines métricos.

La importancia de conocer el coeficiente de absorción de los materiales radica en que éstos influyen en las diferencias temporales o retardos con que las distintas reflexiones llegan al oyente, y provocan una modificación en las características sonoras del recinto a partir de lo que se conoce como tiempo de reverberación TR .

Se define el tiempo de reverberación como el tiempo en que demora un sonido en disminuir 60 dB (o un millón de veces su energía) después de apagada la fuente sonora.

El tiempo de reverberación es directamente proporcional al volumen del recinto e inversamente proporcional a la absorción total.

$$T_R = 0.161 \frac{V}{A} \quad (\text{en segundos})$$

Donde:

V = volumen en m^3

$A = S \bar{\alpha}$ = absorción total en Sabines (m^2)

Esta ecuación es conocida como la ecuación de Sabine³ y es adecuado su uso cuando el recinto es grande, tiene geometría regular (en él la energía se propaga con la misma probabilidad en todas las direcciones) y cuando el coeficiente medio de absorción es inferior a aproximadamente 0.4.⁴

Se han desarrollado ecuaciones más precisas⁵ para el cálculo del tiempo de reverberación; sin embargo, para propósitos de acondicionamiento acústico la de Sabine es suficientemente precisa.

³ En honor a Wallace Clement Sabine, quien en 1898 dedujo que la reverberación de un recinto es inversamente proporcional a la cantidad de absorción del mismo.

⁴ Carrión, op. cit. p. 65.

⁵ Malcom J. Crocker, *Noise and noise control Vol. I, Capítulo 4. Sección 4.2.2.*

4.6 Métodos para medir la absorción de materiales

La dependencia del coeficiente de absorción con la frecuencia obliga a que para cada material se conozca la curva de variación de dicho coeficiente con la frecuencia, estos valores se obtienen a partir de mediciones en laboratorio.

Existen diferentes métodos para determinar las características de absorción de los materiales, éstos involucran principalmente la exposición del material a un campo sonoro conocido y la medición del efecto que produce su presencia a tal campo sonoro.

Medición de la absorción mediante la cámara de reverberación

La medición de la absorción por este método es la que más se aproxima al fenómeno físico en la realidad, pero se requiere de una cámara de reverberación e instrumental especial que sólo algunos laboratorios lo poseen.

Una cámara de reverberación es un recinto cuyos muros, techo y piso son de materiales altamente reflejantes. Antes de hacer la medición de absorción de un material se mide el tiempo de reverberación de la cámara vacía, posteriormente el material que se quiere medir se coloca en el piso y se mide nuevamente el tiempo de reverberación. De esta forma se obtiene el valor del coeficiente de absorción para el material en cuestión:

$$a = \frac{0.161V}{S} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Donde:

S = superficie de la muestra

V = volumen de cámara

T_1 = tiempo de reverberación después de la introducción de la muestra

T_2 = tiempo de reverberación antes de la introducción de la muestra.

Medición de la absorción mediante el tubo de impedancia

Este método, también llamado método de función de transferencia de dos micrófonos consiste en medir la absorción del sonido en un tubo de impedancia como se muestra de manera esquemática en la figura 6.

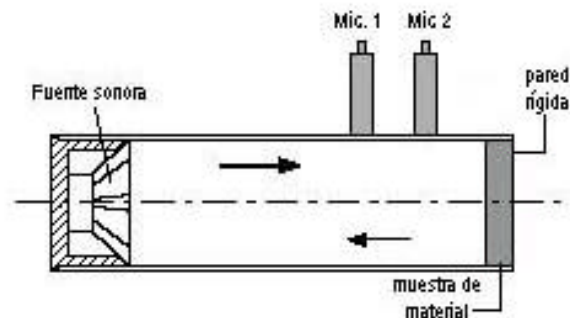


Figura 6. Medición de la absorción sonora mediante el tubo de impedancia.

En un extremo del tubo se coloca un altavoz (fuente sonora) y en el lado opuesto se coloca la muestra de material que se va a medir. Detrás de la muestra se coloca un embolo con superficie reflejante (en adelante la llamaré pared) y profundidad ajustable a los requerimientos de la prueba. El altavoz genera ondas sonoras cuyo desplazamiento es en la dirección del eje del tubo, llegan de forma normal a la muestra de material y son reflejadas.

Se mide la presión sonora en dos puntos (micrófono 1 y 2) y se calcula la función de transferencia con un analizador de frecuencia, de esta forma es posible determinar el coeficiente de absorción del material. El rango de frecuencias que se usa depende del diámetro del tubo y del espacio entre los dos micrófonos.

Si el material que se está probando se pretende usar sobre una superficie sólida la muestra se coloca en contacto con la pared rígida del tubo. Si el material se va a colocar a una distancia de la superficie sólida entonces la muestra se coloca a esa misma distancia de la pared rígida del tubo.

Una de las ventajas de éste método es que sólo se requiere de una pequeña muestra del material a probar; sin embargo, las desventajas son que los coeficientes de absorción determinados corresponden sólo para incidencia normal (perpendicular) y el rango de frecuencias en que se puede medir está determinada por el diámetro del tubo (frecuencia máxima) y la separación de los micrófonos (frecuencia mínima).

Los coeficientes de incidencia aleatoria (obtenidos en la cámara de reverberación) son siempre más grandes que los coeficientes de incidencia normal. Con la grafica de la figura 7 se puede obtener, de forma aproximada, el coeficiente de incidencia aleatoria a partir del coeficiente de absorción de incidencia normal.⁶

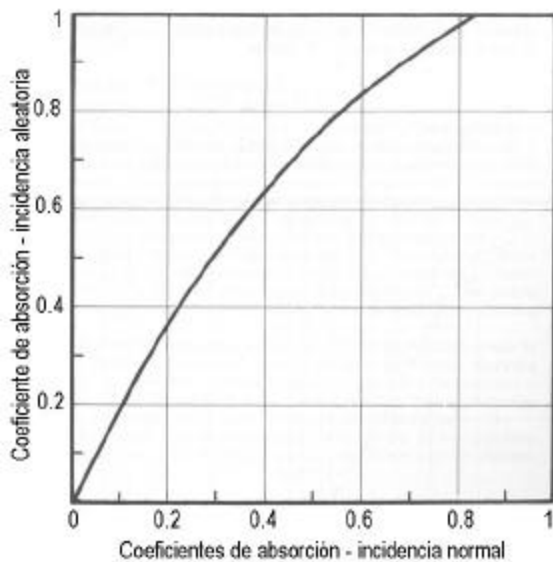


Figura 7. Relación aproximada entre los coeficientes de absorción de incidencia normal y los de incidencia aleatoria.

A pesar de las limitaciones, este método es de uso frecuente porque permite medir en poco tiempo y no requiere instrumental especial ni instalaciones costosas. Los resultados obtenidos se pueden utilizar en la práctica con bastante confianza y resultan útiles para comparar materiales en términos de absorción.

⁶ F. Alton Everest, *The master handbook of acoustics*, p. 162.

4.7 Mediciones de absorción

4.7.1 Materiales que se midieron

Las mediciones del coeficiente de absorción de materiales para este trabajo de investigación se realizaron en el laboratorio de acústica del CCADET de la UNAM, y se utilizó el tubo de impedancia que se muestra en la figura 8. Este tubo permite medir desde una frecuencia mínima de aproximadamente 100 Hz (la separación de los micrófonos es de 8 cm) hasta una frecuencia máxima de aproximadamente 1980 Hz. (el diámetro del tubo es de 10.2 cm.) Para frecuencias mayores, en este tubo las ondas sonoras ya no se desplazarían sólo en la dirección del eje del tubo sino también en la dirección radial y angular. Por lo tanto, las mediciones del coeficiente de absorción ya no serían confiables.

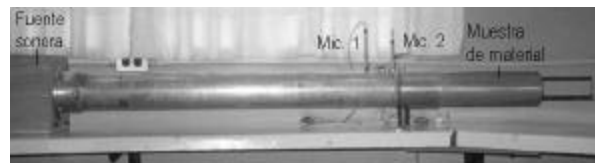


Figura 8. Tubo de impedancia.

Fue necesario realizar estas mediciones porque en el mercado nacional no existe un material o un elemento que tenga las características de absorción y al mismo tiempo cumpla con requerimientos de resistencia y facilidad de limpieza establecidos en las normas de la Secretaría de Salud para unidades médicas. Por tal razón se buscó un arreglo conformado con los siguientes materiales:

- a) el absorbente acústico;
- b) protector del absorbente y
- c) superficie resistente y lavable

Estos materiales podrían colocarse de las siguientes formas:

- a) sobre la cara (la que limita la zona ruidosa) de un muro de concreto o mampostería, como se muestra en la figura 9.

b) conformar un muro con los materiales enunciados en una cara (la que limita la zona ruidosa) y la otra cara con panel de yeso como se muestra en la figura 10, que en adelante llamaré *muro absorbente*.

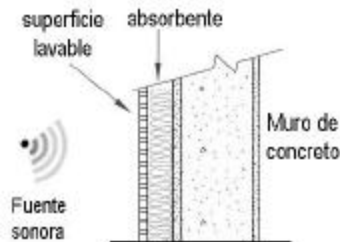


Figura 9. Colocación de materiales para absorber el ruido, propuesta a.

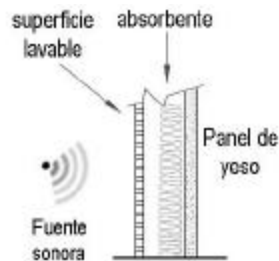


Figura 10. Colocación de materiales para absorber el ruido, propuesta b.

Los materiales absorbentes que se midieron fueron: espuma sintética de melamina, espuma de poliuretano, fibra de vidrio y lana mineral.

Por razones higiénicas es importante que el material absorbente se cubra herméticamente para evitar que las partículas que se le desprendan contaminen el aire del recinto y que se acumule polvo, humedad o partículas contaminantes en los poros del material. Como protector del absorbente se probó dos alternativas: a) una película de poliéster con una cara de aluminio metalizado marca Mylar y b) una membrana impermeable marca Tyvek, ambas fabricadas por la empresa Dupont.

Cabe mencionar que la película de poliéster es comercializada bajo las características de excelente barrera térmica y como material aprobado por la Food and Drug Administration de

los Estados Unidos para ser usado en empaquetado de comida; sin embargo, es conocido en acústica que éste tipo de material tiene la propiedad de ser prácticamente transparente a las ondas sonoras en frecuencias bajas y medias⁷.

La membrana impermeable es un material que sirve como barrera contra el agua, es colocada en muros hechos con tablero de cemento para protegerlos de la corrosión y humedad. Para éste material tampoco hay especificaciones acústicas por parte del fabricante. Se eligió como protector del absorbente por sus características de repelencia al agua, resistencia al desgarre y durabilidad, los resultados de las mediciones revelaron que es un material acústicamente transparente (por lo menos para el rango de frecuencias en que se midió, que fue entre aproximadamente 100 y 1980 Hz) por lo que es adecuado usarlo como recubrimiento de un material absorbente.

Como superficie resistente y lavable se usó panel de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) marca Glasbord (figura 11) fabricado por la empresa Kemlite. Las especificaciones que da el fabricante para éste material son: resistencia a la humedad, a los productos químicos, al impacto, facilidad de instalación y acabado sanitario de resina de poliéster.



Figura 11. Plástico reforzado con fibra de vidrio, marca Glasbord fabricado por la empresa Kemlite.

⁷ Crocker, op. cit., p. 20.

Este panel, que se propone como superficie del muro, es un material acústicamente reflejante, lo que impide que las ondas sonoras lleguen al material absorbente colocado detrás de éste. Para solucionar este problema se le realizaron pequeñas perforaciones (de 1.5 mm de diámetro), a aproximadamente el 15% del área total (suficiente para paneles delgados para permitir la transmisión del sonido⁸).

Un arreglo más para el cual se midió el coeficiente de absorción acústico estuvo compuesto por panel de yeso de 1.3 cm marca Tablaroca fabricado por USG y un revestimiento de fibra de vidrio marca Technical Fabric elaborado por la empresa Saint Gobain. El fabricante de éste revestimiento lo recomienda para ser usado en muros interiores de hospitales y señala que ofrece propiedades de resistencia al impacto, al maltrato, de control acústico y requiere bajo mantenimiento; además, por su composición inorgánica no crean un medio para la formación de moho, ácaros y bacterias. Por las características de higiene éste material podría ser adecuado para colocarlo en los muros de las salas de espera de unidades médicas. Sin embargo, sus propiedades acústicas no son especificadas por el fabricante y sólo se menciona que el material posee propiedades para control acústico sin detallarlas explícitamente y de manera cuantitativa.

También se midieron los coeficientes de absorción acústica de los siguientes tipos de plafones, que se venden en el mercado nacional como materiales acústicos y, finalmente, una propuesta para plafón con panel de plástico y fibra de vidrio de 4":

a) Plafón marca Vitrocor, fabricado por Vitro Fibras. Placa de fibra de vidrio de 1.6 cm, con acabado de vinilo que funciona como barrera de vapor. El fabricante da las siguientes especificaciones para éste producto: se recomienda para ser usado en hospitales, requiere

poco mantenimiento, no crea hongos ni bacteria, y es de larga duración. Sus coeficientes de absorción sonora son mostrados en la tabla 2.⁹

b) Plafón marca Optima Open Plan, fabricado por Armstrong. Placa de fibra de vidrio de 2.5 cm con cubierta de pintura de vinilo. El fabricante da las siguientes características para éste producto: es resistente al impacto, a las manchas y a la humedad; la superficie es acústicamente transparente y lavable. Los datos de coeficientes de absorción sonora especificados por el fabricante se muestran en la tabla 2.¹⁰

c) Plafón marca Alcyón Clima Plus, fabricado por USG Corporation. Placa de fibra de vidrio de 2 cm de espesor con cubierta de vinilo, recomendado por el fabricante para ser usado en cuartos higiénicos. Los coeficientes de absorción se muestran en la tabla 2.¹¹

Tabla 2. Coeficientes de absorción de plafones.

Fabricante	Bandas de frecuencia de 1 octava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
VF	0.03	0.06	0.19	0.68	0.67	0.66
Armstrong	0.40	0.50	0.95	1.03	1.10	1.04
USG	0.69	0.92	0.72	0.95	0.99	0.99

4.7.2 Resultados de las mediciones

A continuación se presentan las gráficas de coeficientes de absorción en función de la frecuencia, obtenidas de las mediciones de los materiales arriba mencionados y diferentes arreglos de éstos.

⁹ Nota del fabricante: la medición de absorción se realizó con la muestra colocada contra un fondo sólido.

¹⁰ Nota del fabricante: montaje de la medición E405. Esto quiere decir que, de acuerdo con la designación E 795-83 de la ASTM (American Society for Testing and Materials), la muestra se colocó a 40.05 cm de una superficie rígida.

¹¹ Ibidem.

⁸ Brüel & Kjaer, *Noise control*, p. 114.

Muro absorbente

a) Material absorbente solo

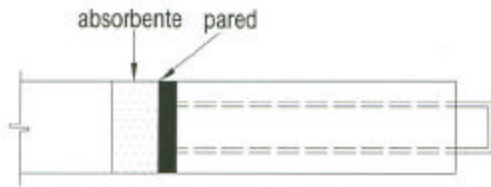


Figura 12. Montaje de la muestra. La muestra de material absorbente está colocado junto a la pared.

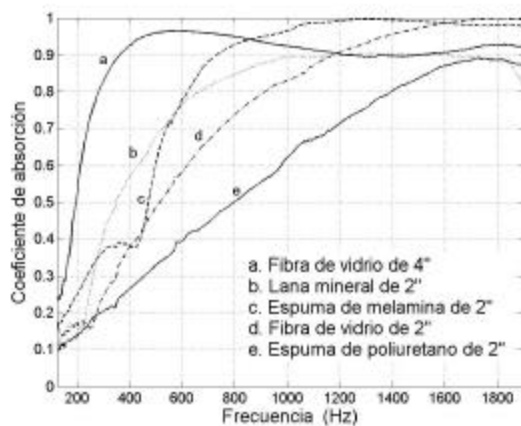


Figura 13. Coeficientes de absorción de 2 materiales fibrosos y 2 porosos.

En la figura 13 se muestran los resultados para 4 materiales absorbentes, 2 fibrosos y 2 porosos, cuyo montaje se muestra en la figura 12. Se observa que los materiales medidos de 2" absorben bien en las frecuencias altas; sin embargo, en las bajas su absorción disminuye considerablemente.

En el caso del material de mayor espesor (fibra de vidrio de 4"); éste absorbe bien en las frecuencias bajas debido a su mayor espesor aunque su absorción decrece ligeramente para frecuencias mayores. La espuma de poliuretano es el material que tiene los valores menores de absorción en todo el rango de frecuencias medido, por ello ya no se incluyó en las siguientes mediciones; también se eliminó la lana mineral porque aunque absorbe bien en un rango de frecuencias bajas, su absorción en las altas es menor que el de la espuma de melamina y la fibra de vidrio.

b) material absorbente con superficie lavable

Las siguientes mediciones se realizaron con un sólo material fibroso (fibra de vidrio de 2" y 4") y uno poroso (espuma de melamina de 2").

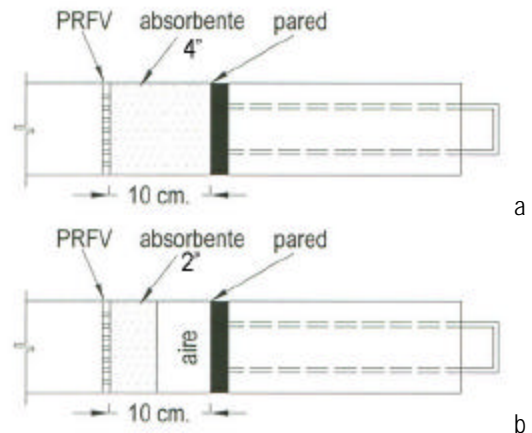


Figura 14. Montaje de la muestra. El panel de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) **no** está pegado al absorbente. a: el absorbente está colocado junto a la pared. b: entre el absorbente y la pared hay una cámara de aire.

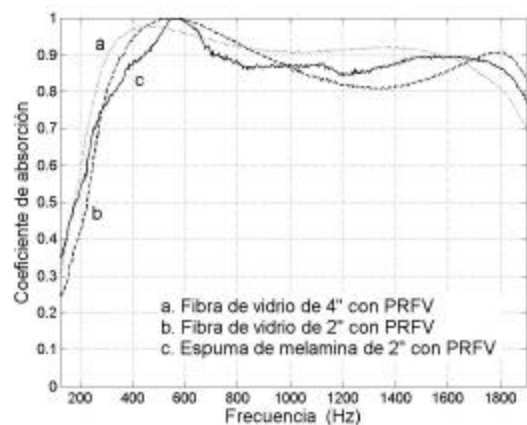


Figura 15. Coeficientes de absorción de un material fibroso y uno poroso con panel de plástico.

El montaje mostrado en las figuras 14a y b es similar a lo que se conoce como resonador de Helmholtz tipo perforado, debido al panel de plástico perforado (PRFV) y la cavidad de aire entre éste y la pared.

En éste tipo de arreglo se podría inducir un cambio en la absorción, mejorarla cerca de la frecuencia de resonancia pero reducirla en las altas frecuencias¹².

En la figura 15 se observa que éste arreglo ha modificado principalmente en dos zonas las características del absorbente sólo (figura 13), en las frecuencias bajas se incrementó ligeramente la absorción (el mayor valor se encuentra en 460 Hz) y en las frecuencias altas éste disminuye a partir de los 1500 Hz. Para este caso la frecuencia de resonancia está determinada de la siguiente forma:

$$f_o = 200 \sqrt{\frac{P}{(D)(t)}}$$

Donde:

F_o = frecuencia de resonancia, Hz.

t = longitud efectiva de la perforación, pulgadas
= (espesor del panel) + 0.8 (diámetro de la perforación)

D = Profundidad del espacio de aire, pulgadas

p = porcentaje de perforación = $78.5 (d/s)^2$

Donde:

d = diámetro de la perforación

s = distancia entre el centro de una perforación y el centro de la otra

$$p = 78.5 (0.0625/0.2812)^2 = 3.87\%$$

$$f_o = 200 \sqrt{\frac{3.87}{(4)(0.093 + 0.8 * 0.0625)}} = 520 \text{ Hz}$$

Como puede observarse la frecuencia de resonancia se encuentra muy cerca de la frecuencia donde se tiene la mayor absorción.

Para el arreglo de la figura 14b, se observa en la gráfica de resultados (figura 15) que la mayor absorción de la espuma de melamina y de la fibra de vidrio (de 2") se localiza también cerca de la

frecuencia de resonancia calculada anteriormente y una disminución en las frecuencias medias y altas (respecto al material medido solo). En éste cambio pudo influir el panel perforado pero también hay influencia de la cámara de aire, pues éste tipo de arreglo induce a una mejora de la absorción en bajas frecuencias pero también a una ligera disminución en frecuencias más elevadas.

Se puede concluir que para mejorar la absorción en las frecuencias bajas se puede utilizar un material absorbente de mayor espesor o bien uno de menor pero con una cámara de aire entre éste y la pared.

c) material absorbente con protector

A continuación se presentan los resultados de las mediciones para fibra de vidrio de 2" y espuma de melamina de 2", en cuyo arreglo se incorpora el protector del absorbente (Mylar y Tyvek) (Fig. 16).

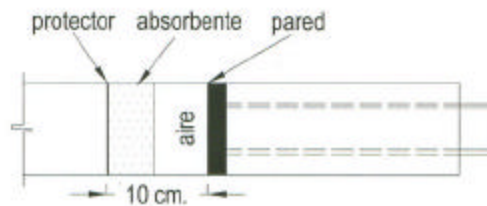


Figura 16. Montaje de la muestra. El material protector (película de poliéster Mylar y membrana impermeable Tyvek) **no** está pegado al absorbente, entre éste último y la pared hay una cámara de aire.

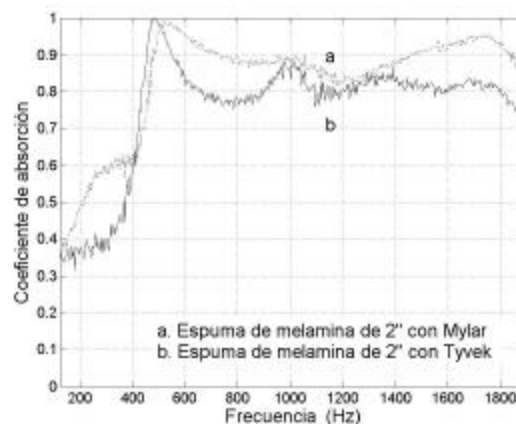


Figura 17. Coeficientes de absorción de espuma de melamina con película de poliéster Mylar como protector.

¹² WEN-HWA CHENS, et-al, *On the acoustic absorption of porous materials with different surface shapes and perforated plates*, Journal of Sound and vibration (2000) 237(2), 337-355.

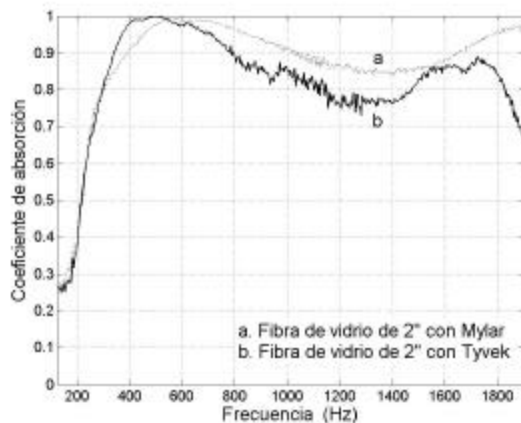


Figura 18. Coeficientes de absorción de espuma de melamina con película de poliéster Mylar como protector.

Comparando las figuras 17 y 18 con la figura 15, se observa que, en general para todo el rango de frecuencias medido los dos materiales protectores del absorbente no modifican las propiedades del absorbente montado como se indica en la figura 16; aunque funciona mejor la película de poliéster.

d) Superficie reflejante y panel de yeso

El último material para conformar la cara posterior del muro que se ha propuesto es una superficie altamente reflejante o un panel de yeso (Fig. 19). En la figura 20 se muestran los valores de absorción de éstos dos.

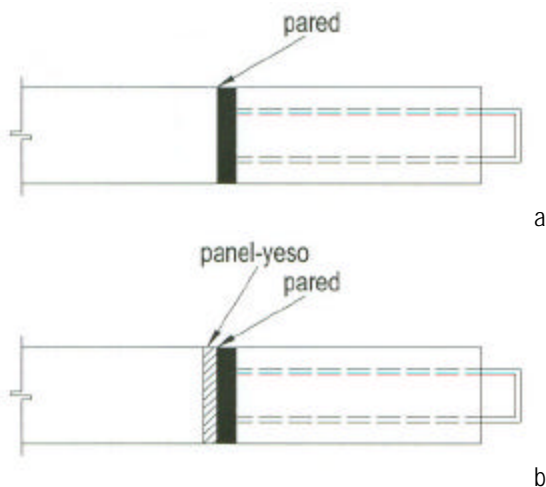


Figura 19. Montaje de la muestra. a: el muro rígido está representado por la misma pared del tubo de impedancia, b: el panel de yeso se colocó junto a la pared del tubo.

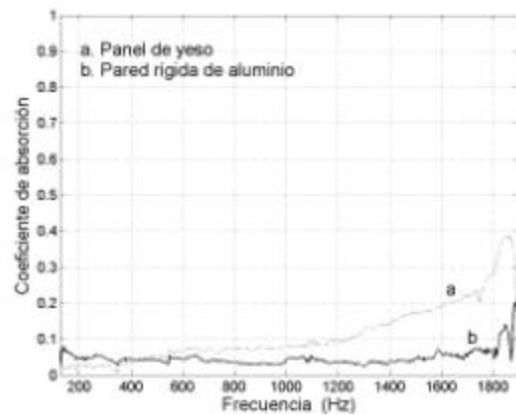


Figura 20. Coeficientes de absorción de la pared del tubo y del panel de yeso.

Se observa en la figura 20 que los coeficientes de absorción de los dos materiales son muy bajos, aunque para el panel de yeso son ligeramente mayores en las frecuencias más altas. Se puede considerar que el panel de yeso no contribuirá en gran medida en la absorción total del arreglo del muro y la decisión de colocar el absorbente y la superficie lavable sobre un muro rígido o con el panel de yeso dependerá de lo más apropiado en el sitio, de acuerdo con sus características o requerimientos arquitectónicos.

e) Colocación del material protector del absorbente

Un aspecto que se debe considerar es la forma más adecuada de colocar el material protector del absorbente (película de poliéster Mylar o membrana impermeable Tyvek). Para determinar cuál es la forma óptima se colocó de dos formas. El primer arreglo (figura 21) que se midió fue colocando el protector pegado al panel de plástico (se tuvo el cuidado de no cubrir las perforaciones de éste con el pegamento). El segundo arreglo (figura 22) consistió en colocar el protector despegado del panel de plástico, considerando que en la realidad el absorbente puede introducirse o envolverse en alguno de éstos protectores para conformar un elemento de absorción que en el mercado se conoce como *baffle acústico*.

En las figuras 23 y 24 se muestran los resultados del primer arreglo y en las figuras 25 y 26 del segundo.

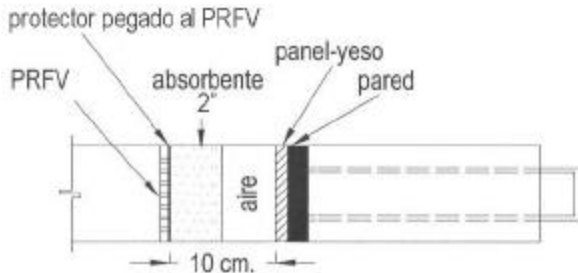


Figura 21. Montaje de la muestra. El material protector está pegado al panel de plástico. Entre el absorbente de 2" y el panel de yeso hay una cámara de aire (en el caso del absorbente de 4" no hay cámara de aire)

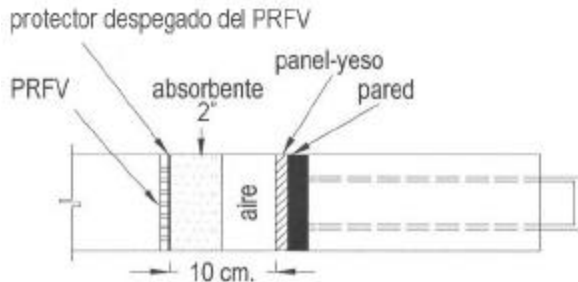


Figura 22. Montaje de la muestra. El material protector **no** está pegado al panel de plástico. Entre el absorbente de 2" y el panel de yeso hay una cámara de aire (en el caso del absorbente de 4" no hay cámara de aire)

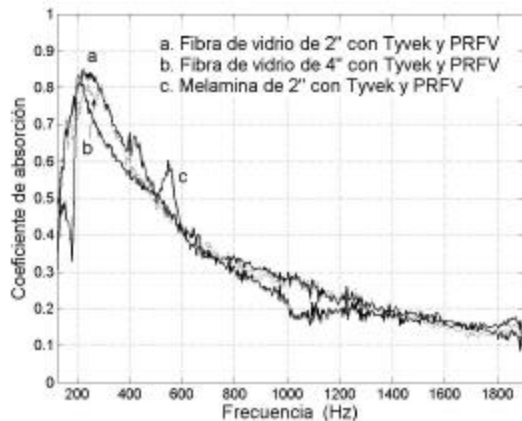


Figura 23. Coeficientes de absorción de fibra de vidrio y melamina con membrana impermeable Tyvek pegada al panel de plástico.

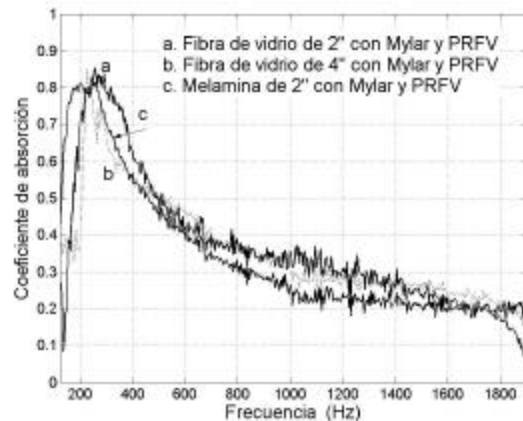


Figura 24. Coeficientes de absorción de fibra de vidrio y melamina con Mylar pegada al panel de plástico.

Se puede ver en las figuras 17 y 18 que el material protector no afecta significativamente las propiedades acústicas del absorbente y en la figura 15 que el panel perforado lo hace. Sin embargo, de acuerdo con los resultados de las figuras 23 y 24 se puede observar que no es adecuado pegar el material protector al panel perforado porque disminuye en gran medida la absorción en las frecuencias medias y altas (que es donde se localizan las frecuencias donde se requiere reducir el ruido).

En las siguientes figuras se observan los resultados de absorción cuando se coloca el protector del absorbente despegado del panel de plástico.

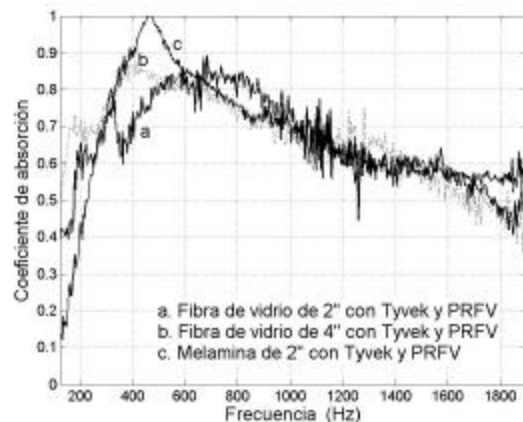


Figura 25. Coeficientes de absorción de fibra de vidrio y melamina con membrana impermeable Tyvek despegada del panel de plástico.

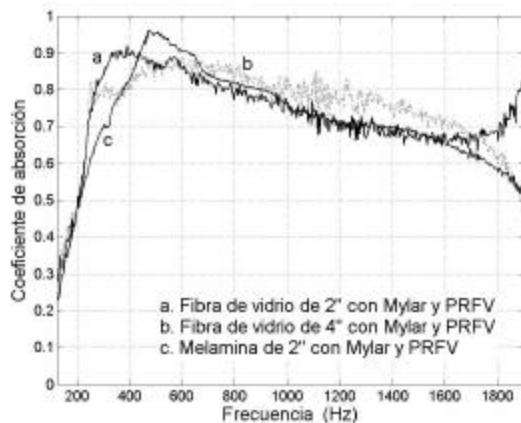


Figura 26. Coeficientes de absorción de fibra de vidrio y melamina con película de poliéster Mylar despegada del panel de plástico.

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de absorción de las mediciones mostradas en las figuras 22 y 23 para las frecuencias de las bandas centradas en 125, 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Para la banda de 125 Hz sólo se tomaron los resultados desde la banda de 100 Hz y para la banda de 2000 Hz sólo se tomaron hasta la frecuencia de 1800 Hz.

Tabla 3. Coeficientes de absorción.

Material	Bandas de frecuencia de 1 octava (Hz)				
	125	250	500	1000	2000
Melamina de 2"					
con Tyvek	0.22	0.57	0.86	0.69	0.53
con Mylar	0.30	0.59	0.85	0.76	0.52
Fibra de vidrio de 2"					
con Tyvek	0.42	0.57	0.75	0.72	0.56
con Mylar	0.34	0.69	0.86	0.76	0.76
Fibra de vidrio de 4"					
con Tyvek	0.6	0.73	0.8	0.7	0.5
con Mylar	0.38	0.66	0.82	0.81	0.59

A partir de las figuras 25 y 26, y de los datos de la tabla 3 se puede concluir lo siguiente:

a) al colocar el material protector despegado del panel de plástico mejora la absorción (comparando con las figuras 22 y 23) en todo el rango de frecuencias medido; por lo tanto éste es el montaje más adecuado y el que se utilizará para la propuesta de muro;

b) en general, para las bandas mostradas en la tabla 3 se tienen coeficientes de absorción mayores cuando los materiales están protegidos con la película de poliéster Mylar que cuando se protegen con la membrana impermeable Tyvek. Por lo tanto, se usará la película de poliéster Mylar como protector del material absorbente para la propuesta de muro. En adelante sólo se considerarán los valores de absorción de los materiales protegidos con Mylar;

c) Se observa en la tabla 3 que el valor pico de absorción se registra en la banda de 500 Hz (banda de interés para la reducción de ruido);

La espuma de melamina es un material que, generalmente, se emplea en el acondicionamiento acústico como material que queda a la vista (su presentación y textura son agradables). Las características estéticas, aunadas a las de absorción hacen de éste material uno de los más costosos, por ello se descarta para ser utilizado en la propuesta de muro.

Se observa también en la tabla 3 que los valores de absorción de la fibra de vidrio de 4" no difieren significativamente de los valores de la fibra de vidrio de 2"¹³ en las bandas de interés para la reducción de ruido.

Con base en el análisis anterior de los resultados de las mediciones se concluye que, la mejor propuesta de muro (materiales y colocación) es como se indica en la figura 27 y consiste en lo siguiente:

- Emplear panel de plástico reforzado con fibra de vidrio perforado como superficie exterior del muro.
- utilizar fibra de vidrio de 2" como material absorbente;
- proteger (cubrir o envolver) el material absorbente con película de poliéster Mylar;

¹³ Recuérdese que en el arreglo de éste material (de 2") hay una cámara de aire, para el de 4" no existe dicha cámara.

- d) la película de poliéster no debe pegarse al panel de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- e) Entre el material absorbente y el panel de yeso dejar una cámara de aire para mejorar la absorción.



Figura 27. Propuesta de muro absorbente.

Los materiales antes citados (excepto el panel de yeso) también pueden ser utilizados para colocarse en un falso techo, cuyo montaje sería de la siguiente forma:

- a) falso techo de panel de plástico reforzado con fibra de vidrio,
- b) encima del panel de plástico se colocan planchas de fibra de vidrio protegidas con película de poliéster Mylar.
- c) El conjunto debe instalarse de tal forma que quede una cámara de aire entre éste y el techo para obtener una mayor absorción en las bandas de frecuencia de interés.

Muro de panel de yeso

A continuación se muestran los resultados de las mediciones para la cara expuesta de un muro al

ambiente ruidoso formada con panel de yeso de 1.3 cm marca Tablaroca fabricado por USG y un revestimiento de fibra de vidrio marca Technical Fabric elaborado por la empresa Saint Gobain (figura 28), cuyo montaje se muestra en la figura 29.

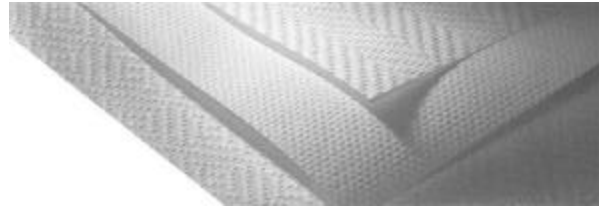


Figura 28. Diferentes texturas de revestimiento de fibra de vidrio marca Technical Fabric elaborado por la empresa Saint Gobain.

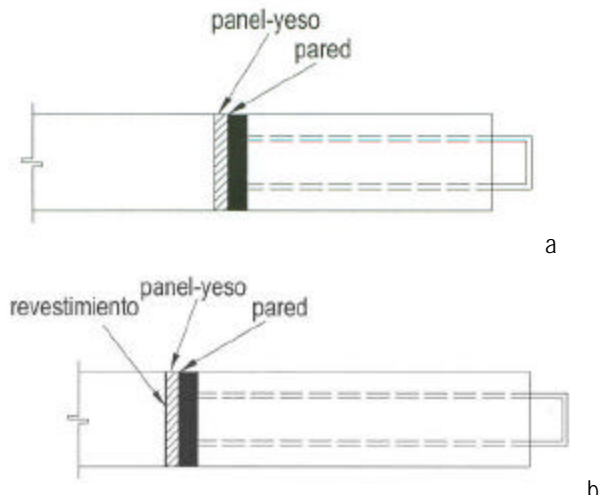


Figura 29. Montaje de la muestra. a: panel de yeso sin revestimiento, b: panel de yeso con revestimiento de fibra de vidrio.



Figura 30. Coeficientes de absorción de panel de yeso con y sin revestimiento de fibra de vidrio.

Se observa en la figura 30 que los coeficientes de absorción del panel de yeso son muy bajos, en general para todo el rango de frecuencias medido, y éstos disminuyen aún más en las frecuencias altas cuando se le coloca el revestimiento de fibra de vidrio. Con base en estos resultados se puede concluir que el revestimiento medido no es apropiado para la absorción del sonido.

Plafones

A continuación se muestran los resultados de mediciones realizadas a tres tipos de plafones de fibra de vidrio.¹⁴

a) Plafón solo

En este caso se midió el coeficiente de absorción del material solo, el montaje se hizo sobre la pared rígida como se muestra en la figura 31.

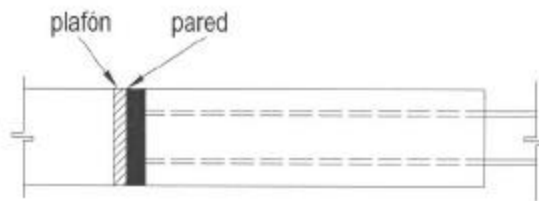


Figura 31. Montaje de la muestra.

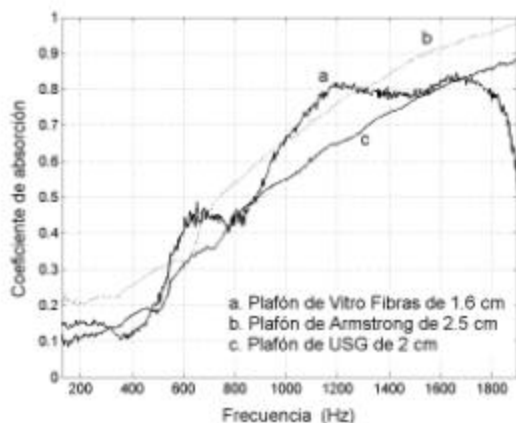


Figura 32. Coeficientes de absorción de plafones.

Se observa en la figura 32 que la absorción de los tres plafones medidos es poca en bajas frecuencias. Para las frecuencias medias y altas hay una diferencia apreciable entre el plafón *a* y los otros plafones (*b* y *c*), la absorción de éstos dos incrementa constantemente con la frecuencia; no así para el plafón *a*, que tiene varios puntos máximos y mínimos. Esta diferencia puede deberse a dos características diferentes de los materiales:

a) el espesor de los materiales. El plafón *a*, que es el de menor espesor (1.6 cm), tiene los coeficientes de absorción más bajos. El plafón *b*, que es el de mayor espesor tiene los coeficientes de absorción más altos;

b) la superficie protectora. La cubierta de los plafones *b* y *c* es lisa y está totalmente unida al absorbente, la del plafón *a* tiene relieve y permite que entre ésta y el absorbente haya un espacio de aproximadamente 1 ó 2 mm de aire.

El uso de estos plafones, con el montaje indicado, no es adecuado para resolver el problema de ruido en el caso específico de las unidades médicas estudiadas porque tienen coeficientes de absorción bajos en las frecuencias de mayor interés (125, 250, 500, y 1000 Hz).

b) Plafón con cámara de aire

En este caso se midió el coeficiente de absorción del plafón con una cámara de aire entre éste y la pared rígida, el montaje se hizo como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Montaje de la muestra. Entre la muestra de plafón y la pared hay una cámara de aire de aproximadamente 30 cm.

¹⁴ Vid. supra., descripción de estos plafones en el apartado 4.7.1

La profundidad de la cámara de aire del montaje mostrado en la figura 33 es la distancia máxima que el tubo permite para la colocación de la muestra. Esta medida puede considerarse como una aproximación del espacio (variable) para falsos plafones.

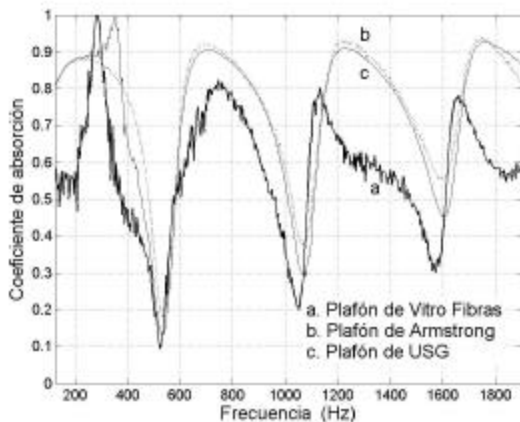


Figura 34. Coeficientes de absorción de plafones.

Se observa en la figura 34 que cuando se deja una cámara de aire de 30 cm aproximadamente, el coeficiente de absorción para los tres plafones no presenta una tendencia ascendente en función de la frecuencia sino que tienen valores máximos y mínimos.

El punto máximo, en los tres casos, está situado alrededor de la frecuencia de 280 Hz, cuya longitud de onda es de 120 cm. En este caso se comprueba que la máxima absorción se obtiene al colocar el material a una distancia igual a $\lambda/4$ (30 cm). Los siguientes puntos máximos se localizan cerca de $3/4 \lambda$, $5/4 \lambda$ y $7/4 \lambda$ respectivamente. Aunque presenta valores mínimos en ciertas frecuencias (cerca de 550, 1050 y 1600 Hz) el coeficiente de absorción de toda la banda será mayor.

Se ha dicho que los tres plafones medidos tienen una superficie lavable (según el fabricante); sin embargo, desde mi punto de vista, la limpieza de éstos debe realizarse con sumo cuidado para no dañarla. Por ésta razón se propone el uso de otro tipo de plafón que a continuación se describe.

c) Plafón con panel de plástico perforado

Para el caso de las salas de espera de unidades médicas del sector social se requiere un material más resistente, que permita diferentes sistemas de lavado a mano o con máquina, por lo que se propone conformar un falso plafón con fibra de vidrio de 4" envuelta en una película de poliéster Mylar, una cámara de aire y panel de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con pequeñas perforaciones.

El sistema de suspensión se hará de tal forma que permita que el panel de plástico se pueda remover con facilidad para su limpieza. La fibra de vidrio se colocará en forma de baffles acústicos (material absorbente envuelto con material acústicamente transparente y sujetado del techo) para que no haya necesidad de moverlo cuando se limpie el panel de plástico. En estas mediciones se colocó el material absorbente junto a la pared rígida (figura 35); sin embargo, en la práctica, si el espacio destinado para el falso plafón lo permite, se recomienda separar el material absorbente de la superficie rígida para obtener una mayor absorción.

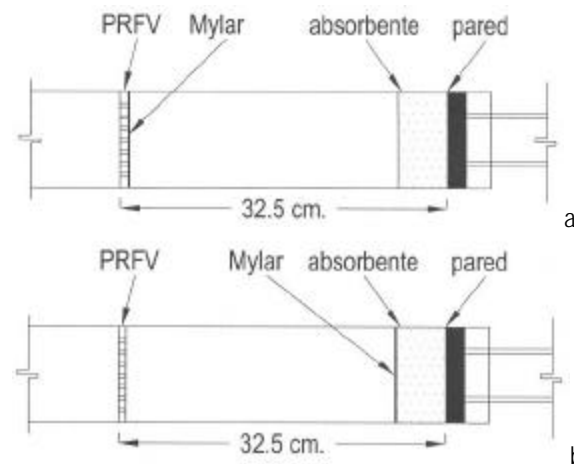


Figura 35. Montaje de la muestra. Entre el panel de plástico perforado y la fibra de vidrio (colocada junto a la pared) hay una cámara de aire de 22 cm aproximadamente, a: la película de poliéster Mylar (sin pegar) se colocó junto al panel de plástico, b: la película de poliéster Mylar (sin pegar) se colocó junto al material absorbente.



Figura 36. Coeficientes de absorción para montaje a.

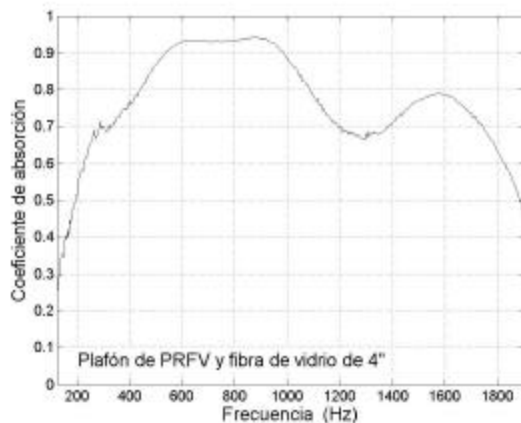


Figura 37. Coeficientes de absorción para montaje b.

Se observa en las figuras 36 y 37 que, los coeficientes de absorción en las frecuencias de 125 y 250 Hz son ligeramente más altos cuando la película de poliéster Mylar se coloca junto al panel de plástico que cuando se coloca junto al material absorbente; sin embargo, en las frecuencias de 500 y 1000 Hz la absorción es mayor cuando la película de poliéster Mylar se coloca junto al material absorbente que cuando se coloca junto al panel de plástico. Debido a que la frecuencia de mayor interés para el control del ruido es la de 500 Hz, se utilizará el montaje b mostrado en la figura 34.

4.8 Aislamiento acústico

El aislamiento acústico se refiere al conjunto de acciones para obtener una atenuación en la transmisión del ruido entre diferentes espacios. Si bien éste no es el tema central del trabajo de investigación, si se aplican algunas consideraciones de éste en la propuesta de acondicionamiento acústico que se plantea en el capítulo 5, por ello se revisará brevemente.

Tipos de ruido

Antes de explicar en qué consiste el aislamiento acústico es importante distinguir dos clases de ruidos que se pueden registrar en un recinto:

- a) Ruido aéreo: es el ruido que se propaga por vibración del aire, por ejemplo la palabra.
- b) Ruido de impacto: son generados por choques y se transmiten directamente a los elementos de construcción, por ejemplo los ruidos de pasos, martillazos y caída de objetos.

Los resultados de las mediciones de ruido en las salas de espera de la muestra de unidades médicas, analizados en el capítulo 3, mostraron que el ruido que predomina en dichas salas es el aéreo, por tal razón este apartado sólo se enfocará al estudio del aislamiento acústico a ruido aéreo¹⁵. Las aplicaciones más comunes para el control del ruido aéreo dentro de un recinto, como el que es tema de nuestro estudio (salas de espera), son las siguientes:

- a) Protección contra el ruido exterior.
- b) Protección contra el ruido que proviene de un recinto contiguo.

¹⁵ Sobre el tema de aislamiento a ruidos de impacto puede consultarse: Malcom J. Crocker, *Noise and noise control*, Capítulo I, sección VI.

Aislamiento acústico a ruido aéreo

Si se consideran dos espacios adyacentes, como se muestra en la figura 38, el aislamiento acústico a ruido aéreo es el diseño adecuado de los elementos de división (verticales en este caso) entre el espacio receptor (espacio a aislar) y el espacio colindante donde se localiza la fuente de ruido, con el objetivo de reducir la energía acústica que es transmitida al local receptor.



Figura 38. Ilustración esquemática de la atenuación de ruido aéreo.

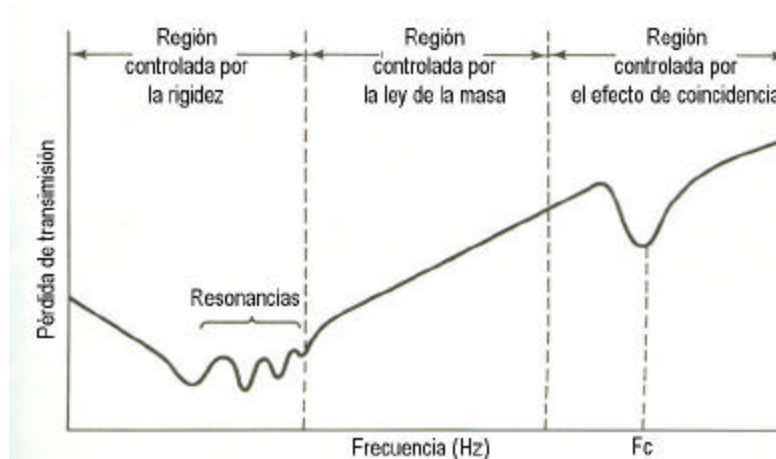


Figura 39. Variación de la pérdida de transmisión con la frecuencia para un muro homogéneo.

La primera región, a muy bajas frecuencias es controlada principalmente por la rigidez del muro. En general, entre más rígido sea el muro, mejor será la pérdida de transmisión. La siguiente región está afectada por la resonancia mecánica del material del elemento divisorio. Cada objeto tiene una frecuencia de resonancia asociada a él que depende de la composición de su material.

El fenómeno de resonancia es la amplificación de la amplitud de la vibración de un objeto cuando este está expuesto a altos niveles de sonido dominando en su rango de frecuencia de resonancia. En esta situación el objeto tiende a

oscilar o vibrar a una frecuencia similar a la de excitación y a una amplitud mayor que si el sonido de excitación estuviera fuera del rango de frecuencia de resonancia. Pasando la región de resonancias la pérdida de transmisión está controlada por la masa del muro. En esta región, la ley de la masa indica lo siguiente:

Pérdida de transmisión (TL)

La pérdida de transmisión o *transmisión loss* (TL) es la relación entre la intensidad acústica incidente al elemento divisorio y la transmitida al espacio receptor. En la figura 39 se muestra la forma en la cual la pérdida de transmisión varía con la frecuencia para un elemento divisorio homogéneo (muro en este caso), en ésta se observan varias zonas de respuesta a la frecuencia.

oscilar o vibrar a una frecuencia similar a la de excitación y a una amplitud mayor que si el sonido de excitación estuviera fuera del rango de frecuencia de resonancia. Pasando la región de resonancias la pérdida de transmisión está controlada por la masa del muro. En esta región, la ley de la masa indica lo siguiente:

a) Para un cerramiento rígido y un ángulo de incidencia dado, su aislamiento aumenta 6 dB cada vez que se duplica su densidad superficial (masa por unidad de área).

- b) Para un cerramiento rígido y un ángulo de incidencia dado, su aislamiento crece a razón de 6 dB por octava.
- c) Para un cerramiento y una frecuencia dada el aislamiento disminuye al aumentar el ángulo de incidencia de las ondas sonoras (las ondas rasantes se transmiten mejor que las normales).

La ley de la masa se expresa con la siguiente ecuación:¹⁶ $TL = 20 \log(m f) - 42$ (dB)

Donde:

m = densidad superficial en kg/m²

f = frecuencia

De acuerdo con la ley de la masa, en un muro se puede obtener un incremento de 6 dB en el valor de la pérdida de transmisión al duplicar su espesor. Sin embargo, en algunos casos este incremento podría no ser suficiente para un muro de espesor típico y entonces, las consideraciones de peso y espacio hacen que éste principio de diseño no sea práctico.

Un método más efectivo para incrementar el aislamiento sonoro entre recintos es el uso de dos o más elementos separados por un espacio de aire para conformar el muro de división entre los dos espacios. Dicho incremento en el aislamiento se debe a los cambios en la densidad de los diferentes medios por los que pasa el sonido al atravesar éste tipo de muro.

Se pueden lograr valores mayores de la pérdida de transmisión cuando el espacio de aire entre muros tiene material absorbente porque éste provoca otro cambio en la densidad del medio por el que viaja el sonido. Este tipo de muros puede proporcionar aproximadamente 20 dB más que lo que se lograría al incrementar la masa o el espesor de un muro en la misma cantidad de espacio.¹⁷ La última región del espectro de la pérdida de transmisión es conocida como la región donde ocurre un descenso de la pérdida de

transmisión en el punto que es conocido como frecuencia crítica de coincidencia (F_c). La frecuencia crítica depende del espesor del material y generalmente decrece en la misma proporción que se incrementa el espesor del material. En la tabla 4 se muestra la frecuencia crítica para algunos materiales. El fenómeno de coincidencia puede reducirse usando un diseño apropiado del elemento de división.

Tabla 4. Frecuencia crítica de algunos materiales comunes en la construcción.¹⁸

Material	Espesor (pulgadas)	Frecuencia crítica (Hz)
Concreto	8	100
Madera terciada	1/2	1700
Yeso	1/2	3100
Acero, aluminio	1/8	4100
Plomo	1/2	4400
Vidrio	1/8	4900

Cuando se requiere especificar el aislamiento de un material o elemento, o bien, para comparar el aislamiento de diferentes materiales o elementos es más conveniente hacer uso del número de clasificación llamado *Sound Transmisión Class* (STC). El STC no es un promedio de la pérdida de transmisión, es un valor basado en el espectro de éste último para una curva estándar.

Entre más grande es el valor del STC, más eficiente es el elemento en reducir la transmisión sonora. Aunque la pérdida de transmisión tiene como unidad el dB, el valor del STC no tiene unidad. En las tablas 7 y 8 se especifica el STC para diferentes sistemas de división vertical entre dos espacios

Reducción de ruido (NR)

La reducción de ruido o *noise reduction* (NR) es la diferencia en el nivel de presión sonora en dos puntos específicos en el recinto donde se localiza la fuente sonora y en el espacio receptor.

¹⁶ Llinares Galiana, op. cit. p.284.

¹⁷ James P. Cowan, *Environmental acoustics*, p.94.

¹⁸ *Ibidem.*, p. 95

La pérdida de transmisión es la propiedad de un elemento divisorio medida en un laboratorio con características específicas, mientras que la reducción de ruido es una forma de evaluar la efectividad del elemento divisorio en un recinto dado. La pérdida de transmisión es una propiedad específica del elemento de división, la reducción de ruido no lo es.

Pérdida de inserción (IL)

La pérdida de inserción o *insertion loss* (IL) es la diferencia entre el nivel de presión sonora en un punto en el espacio receptor (fig. 34) antes y después de que ha sido colocado un elemento de división entre el recinto donde se ubica la fuente de ruido y el espacio receptor. La pérdida de inserción es más usada para describir el desempeño de atenuación de ruido de silenciadores¹⁹ y barreras. La pérdida de inserción es más usada que la pérdida de transmisión para evaluar una barrera debido a que la efectividad de ésta generalmente se determina por la difracción del sonido sobre ésta más que por la transmisión a través de ella.

El comportamiento de los elementos de división varía con la frecuencia, como puede observarse en la tabla 6, por ello, cuando un problema de ruido requiere restricciones en la transmisión sonora, el elemento de división debe ser efectivo en el rango de frecuencias de interés.

Consideraciones

Es muy importante cuidar la transmisión del sonido por fisuras en el elemento de división (muro en este caso) y juntas entre el muro y el techo, piso, muros laterales, ventanas y puertas.

Las fisuras o huecos en un muro pueden ser la causa de que se reduzca su efectividad de aislamiento. En la tabla 5 se puede ver la variación del valor de la pérdida de transmisión debida a

una abertura. Los cálculos están basados en un muro con TL de 45 dB.

Tabla 5. Reducción en la pérdida de transmisión Vs. Porcentaje de abertura.²⁰

Porcentaje del área del muro con abertura	Reducción de TL (dB)	TL resultante (dB)
0.01	6	39
0.1	15	30
0.5	22	23
1	25	20
5	32	13
10	35	10
20	38	7
50	42	3
75	44	1
100	45	0

Las ventanas y las puertas son puntos débiles desde el punto de vista del aislamiento acústico. Los problemas que presentan son su bajo peso y el cerramiento en su perímetro. Se mencionó anteriormente que la efectividad de un elemento aislante está en función de su densidad superficial, en el caso de ventanas y puertas dicha densidad no puede ser alta por razones prácticas. Por ello, para no perder la efectividad de estos elementos, el perímetro debe ser sellado lo más posible para evitar el paso de las ondas sonoras.

Las ventanas deben ser colocadas en material suave y elástico y las puertas deben sellar herméticamente con los marcos también con material suave y elástico para reunir las especificaciones del vendedor.

Para preservar el valor de la pérdida de inserción de un elemento divisorio es importante evitar uniones rígidas entre los lados del elemento, entre el elemento y el techo, piso y muros laterales y entre el elemento divisorio y conductos de tuberías. Para ello se recurre a uniones con materiales elásticos.

¹⁹ Para conocer los diferentes tipos de silenciadores y sus características acústicas ver el capítulo 8 de: Lewis H. Bell y Douglas H. Bell, *Industrial noise control*.

²⁰ Cowan, op. cit., p. 97

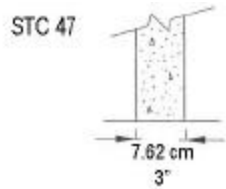
Tabla 6. Aislamiento sonoro de materiales.²¹

Material	Pérdida de transmisión (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ladrillos, 10 cm	30	36	37	37	37	43
Bloque de cemento, 20 cm, hueco	33	33	33	39	45	51
Bloque de cemento, 15 cm, liviano	38	36	40	45	50	56
Cortinas, plomo-vinilo, 7.5 kg/m ²	22	23	25	31	35	42
Puerta maciza, 7 cm	26	33	40	43	48	51
Panel de vidrio, 0.6 cm	25	29	33	36	26	35
Panel metálico perforado, con lana mineral de 10 cm	28	34	40	48	56	62
Madera terciada, 0.6 cm 3.5 kg/m ²	17	15	20	24	28	27
Madera terciada, 1.8 cm 10 kg/m ²	24	22	27	8	25	27
Chapa de hierro, 18, 10 kg/m ²	15	19	31	32	35	48
Chapa de hierro, 16, 12.5 kg/m ²	21	30	34	37	40	47

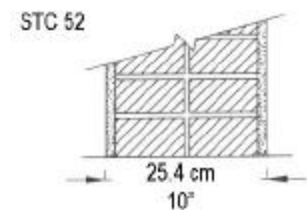
Nota: el valor del aislamiento corresponde al material solo, no al elemento de división realizado con estos materiales.

Tabla 7. STC de algunos sistemas de división vertical.²²

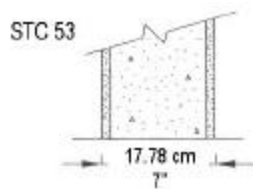
Muro de concreto.



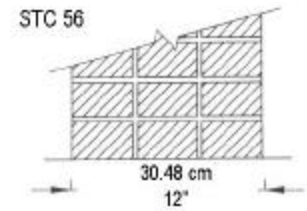
Muro de tabique con aplanado.



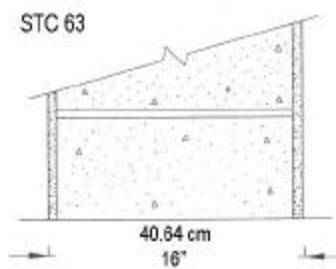
Muro de concreto con aplanado de 1.3 cm en ambos lados.



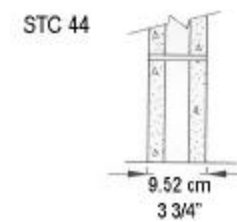
Muro de tabique sin aplanado.



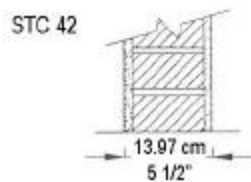
Muro de bloque de concreto sólido con aplanado de 1.3 cm en ambos lados.



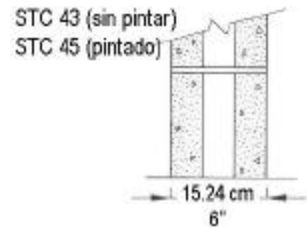
Muro de bloque hueco de cemento pintado por ambos lados.



Muro de tabique con aplanado de 1.3 cm en ambos lados.



Muro de bloque hueco de concreto.



²¹ Alberto Behar, *El ruido y su control*, p.129.

²² J. Cavanaugh, op. cit., p. 80-88.

Tabla 7. (Continuación)








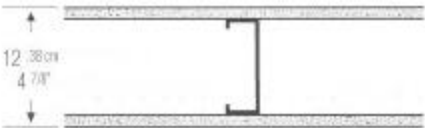
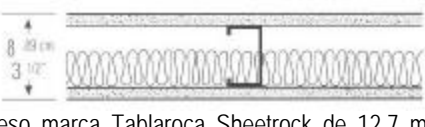
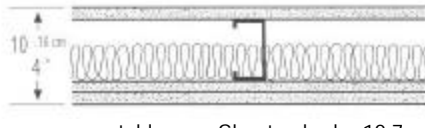
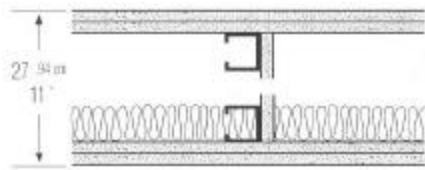
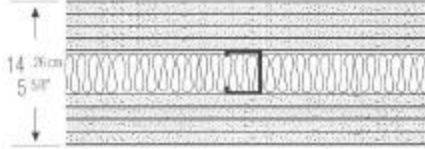
Puerta interior fabricada con madera (interior hueco).	STC 17	
Puerta interior fabricada con madera (interior sólido).	STC 20	
Puerta interior fabricada con madera (considerada como acústica).	STC 38	
Puerta interior, metálica, (considerada como acústica).	STC 53	
Ventana sencilla (1 vidrio).	STC 27	
Ventana sencilla (1 vidrio).	STC 30	
Ventana doble (2 vidrios con cámara de aire entre éstos).	STC 42	

Tabla 8. STC de muros divisorios de panel de yeso.²³

STC 38		Tableros de yeso marca Tablaroca Sheetrock de 15.9 mm (5/8"), tableros a una capa colocados y atornillados en forma vertical a cada 30.5 cm.
STC 45		Tableros de yeso marca Tablaroca Sheetrock de 12.7 mm (1/2"). Capa sencilla de tablaroca en ambos lados colocados verticalmente y atornillados, en el interior colchoneta THERMAFIBER SAFB de (1 1/2").
STC 50		Tableros de yeso marca tablaroca Sheetrock de 12.7 mm (1/2"). 1 capa de tablero de yeso en un lado colocados verticalmente y atornillados, en el interior colchoneta THERMAFIBER SAFB de (1 1/2") y 2 tableros de yeso en el lado opuesto.
STC 55		Muro de dos capas de tableros de yeso marca Tablaroca Sheetrock de 12.7 mm (1/2"), en el interior colchoneta THERMAFIBER SAFB de (1 1/2").
STC 62		4 capas de tablero de yeso marca Tablaroca Sheetrock de 12.7 mm (1/2") de cada lado y en el interior colchoneta THERMAFIBER SAFB de (1 1/2").

²³ Manual técnico de tablero de yeso marca tablaroca de la empresa USG México, MT200/02-2003.

Caso de estudio

5.1 Introducción

De las unidades médicas que formaron la muestra donde se midieron los niveles de ruido, se eligió el Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 (IMSS) como caso de estudio para realizar una evaluación de las condiciones acústicas. La evaluación consistió en los siguientes aspectos:

a) Evaluación subjetiva de la molestia causada por ruido.

Con el propósito de conocer el grado de molestia causada por ruido en las personas se realizó una evaluación subjetiva que consistió en la aplicación de una encuesta a los usuarios de las salas de espera. Aunque este estudio no es tan amplio para poder conocer la magnitud del problema de molestia, sí permite exponer algunos aspectos importantes de los que más adelante se hablará.

b) Acondicionamiento acústico del recinto.

La información derivada de esta encuesta, aunada a la que se obtuvo de las mediciones de ruido, muestran que deben tomarse acciones para reducir los niveles sonoros en el caso de estudio para proporcionar un ambiente de tranquilidad (libre de molestia).

Para ello, se realizó la evaluación de las condiciones acústicas de una de las salas de espera del caso de estudio mediante el cálculo de algunos parámetros. Una vez conocidas dichas condiciones se ha hecho una propuesta para mejorarlas y de igual forma se han verificado los resultados con cálculos matemáticos.

5.2 Elección del caso de estudio

La elección del caso de estudio se hizo tomando en consideración los niveles de ruido medidos y las características arquitectónicas de las salas de espera.

De todas las salas de espera analizadas, las del Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 (IMSS), fueron las que presentaron los niveles de ruido más altos y como se ha comentado,¹ esto podría representar un problema de molestia para los usuarios; por esta razón se ha elegido como caso de estudio.

En cuanto al aspecto arquitectónico esta unidad médica es la que resulta más interesante de todas debido a que, por su diseño, desde el punto de vista acústico, se generan los siguientes problemas:

a) Tanto la planta baja (consulta externa de especialidades), como la planta alta (consulta externa de medicina familiar, figura 1) tienen una superficie de aproximadamente 360 m², en cada una de éstas se disponen 3 salas de espera comunicadas por un pasillo, que sirve también de área de espera durante las horas de mayor afluencia de usuarios. El inconveniente de esta distribución de espacios es que si el volumen es grande el tiempo de reverberación lo será también y esto es un problema como se verá más adelante. Además de que, por el tamaño, habrá un mayor número de fuentes sonoras, que contribuyen a aumentar el ruido en el interior.

¹ Vid. Supra, Evaluación de los resultados en el capítulo 3.

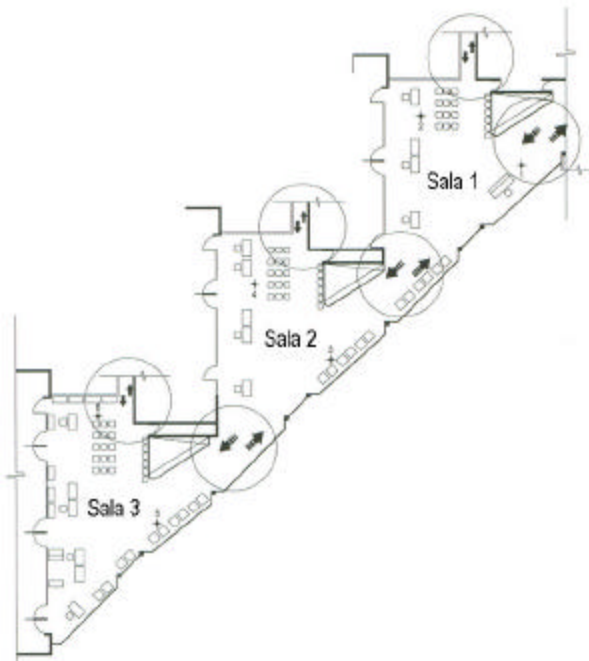


Figura 1. Hospital de Zona/UMF No. 8. Salas de espera en planta alta. El área dentro del círculo muestra la zona de transmisión de ruido entre un espacio y otro.

b) Transmisión de ruido en el mismo nivel. Entre una sala y otra no existe división física, tampoco la hay entre cada sala y un pasillo que conduce a otras áreas del hospital; lo que permite una libre transmisión del ruido entre espacios (figura 1).

c) Transmisión de ruido entre niveles. En el piso de la planta alta (losa de planta baja) existen 3 perforaciones de 8 m² cada una, las cuales permiten la transmisión sonora entre las salas de ambos niveles (figura 2).



Figura 2. Vista de uno de los tres vanos en piso por donde se transmite el ruido entre la planta alta y la planta baja.

Estos espacios vacíos, al parecer, no tienen ninguna utilidad, por el contrario, es espacio que podría ser utilizado para ampliar el área de espera; además la vista hacia abajo es muy desagradable, debido a que sólo se observa basura sobre la cubierta de consultorios prefabricados que se ubican en esta misma zona en la planta baja.

Lo mismo sucede con los muretes que colindan con la jardinera (en las dos plantas), éstos tienen 1 m de altura, dejando el resto de la superficie libre, lo que facilita la transmisión de ruido entre ambos niveles (figura 3). La utilidad de éste vano es que permite una vista hacia la jardinera, así como la entrada de iluminación natural que proviene del domo que cubre la jardinera.

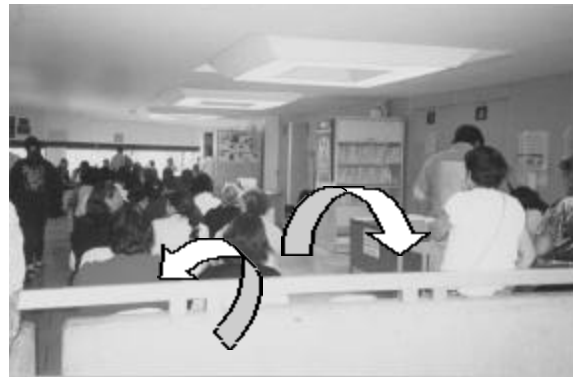


Figura 3. Vista de uno de los tres vanos en muro por donde se transmite el ruido entre la planta alta y la planta baja.

d) Acabados. Los materiales utilizados como acabados en muros, plafón y piso tienen superficie dura y sin poros, lo que provoca que el sonido tenga un alto grado de reflexión (poca absorción). La energía sonora reflejada se suma a la del sonido directo y aumenta por consiguiente el nivel del ruido.

Por las razones antes expuestas estas salas de espera representan el mejor caso para hacer un análisis de las condiciones acústicas y realizar una propuesta de acondicionamiento acústico.

5.3 Evaluación subjetiva de la molestia provocada por el ruido

Con el objetivo de estimar cuánto molesta el ruido a los usuarios (pacientes) en las salas de espera del Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 (IMSS) se realizó una evaluación subjetiva de este problema.

La definición más ampliamente citada de molestia es la siguiente: *molestia es un sentimiento de disgusto asociado con cualquier agente o condición que es considerada por un individuo o grupo como algo que le está afectando de manera negativa.*²

Recientes investigaciones de un grupo de investigadores de ocho naciones difieren un poco de esta definición, que es básicamente una respuesta emocional. Ellos sugieren que la molestia comprende una respuesta conductual (perturbación de las actividades) y una emocional (evaluación negativa)³.

La molestia que se considera en ésta evaluación abarca los dos aspectos considerados en la última definición de molestia. La perturbación por el ruido se puede dar al interferir éste con la comunicación entre los usuarios y el personal y la respuesta emocional se puede dar ante la alteración de la tranquilidad del sitio y la sensación de incomodidad producida por ruido.

La evaluación subjetiva se realizó mediante la aplicación de una encuesta en las salas de espera. La formulación de las preguntas se basó en las recomendaciones hechas por un grupo de

investigadores que pertenecen al *International Commission on the Biological Effects of Noise*.⁴

Debido a que existen grandes variaciones en los resultados de encuestas realizadas en diversos países, (variación que se debe a la diversidad de las preguntas usadas en cada país), el trabajo de este grupo de investigadores tiene el propósito de estandarizar una sola encuesta. Con los resultados de la encuesta estandarizada que proponen se pretende juzgar si las reacciones a la misma exposición de ruido en diferentes localidades, culturas y países son lo suficientemente similares para establecer regulaciones internacionales.

Los investigadores recomiendan utilizar al menos dos preguntas para evaluar la molestia en general, una de ellas usa una escala numérica de 11 puntos y la otra es una escala verbal. Ambas preguntas se enfocan en las reacciones generales más que en respuestas particulares.

La ficha técnica del estudio es la siguiente:

a) Universo: Pacientes atendidos en el servicio de consulta externa de medicina general y especialidades del Hospital de Zona/U.M.F. No. 8 San Ángel (IMSS).

b) Muestra: 55 pacientes

Sexo:	Femenino	67%
	Masculino	33%
Edad:	menos de 20	4%
	de 21 a 30	16%
	de 31 a 40	22%
	de 41 a 50	22%
	más de 50	36%

c) Encuesta: Cuestionario aplicado directamente.

d) Selección: Aleatoria

e) Fecha de aplicación de la encuesta: 4 de junio de 2004, entre las 8:50 y las 11:15 horas.

² A. García (Editor), *Environmental urban noise*, p.118. Apud. Lindvall, T. & Radford, E.P., *Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors*. Environmental Research 6, pp. 1-36, 1973.

³ Ibidem. Apud. Guski, R., Schuemer, R. & Felscher-Suhr, U., *The concept of noise annoyance: how international experts see it*. Journal of sound and vibration, 223, pp. 513-527, 1999.

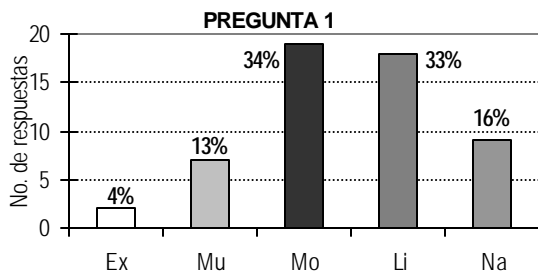
⁴ J.M. FIELDS, et. al., *Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and recommendation*, Journal of Sound and Vibration, 2001; 242(4): 641-679.

Resultados de la encuesta

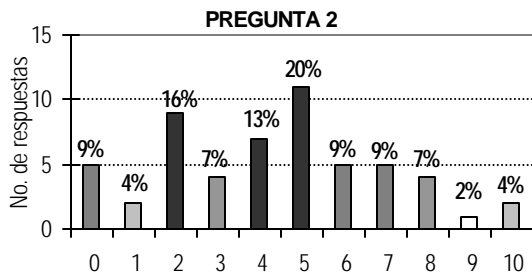
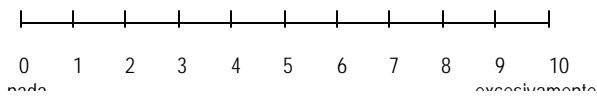
A continuación se presentan los resultados de la encuesta por medio de gráficas.

PREGUNTA 1. Tomando en consideración las últimas veces que ha estado usted aquí, en esta sala de espera, indique cuánto le molesta o perturba el ruido que escucha aquí.

Respuestas: Excesivamente (Ex), mucho (Mu), moderadamente (Mo), ligeramente (Li), nada (Na).



PREGUNTA 2. Tomando en consideración las últimas veces que ha estado usted aquí, en esta sala de espera; tache el número, entre el cero y el diez, que exprese mejor cuánto le molesta o perturba el ruido que escucha aquí. (Por ejemplo si a usted no le molesta el ruido debe tachar el cero y si a usted le molesta excesivamente deberá escoger el diez).

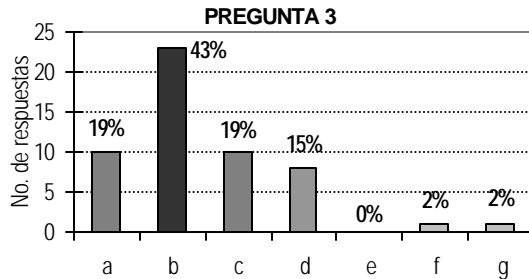


PREGUNTA 3. ¿Cuál ruido es el que más le molesta?

Respuestas:

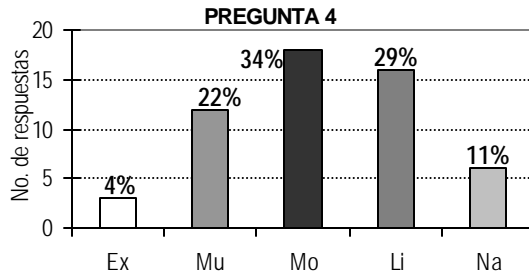
a) El que viene de la calle

- b) El que hacen las personas al hablar
- c) El que hacen los niños al llorar
- d) El que hacen los niños al jugar
- e) El que hacen las máquinas de escribir
- f) El que hacen los teléfonos
- g) El que hacen las televisiones



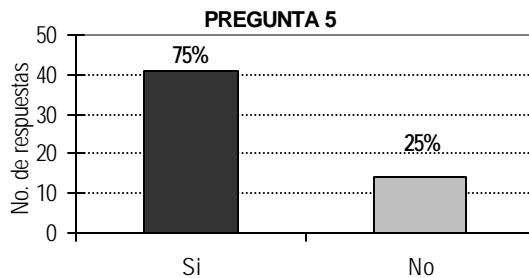
PREGUNTA 4. Tomando en consideración las últimas veces que ha estado usted enfermo y ha esperado ser atendido por el médico en esta sala; indique cuánto ha influido el ruido para que usted se sienta más enfermo de lo que está.

Respuestas: Excesivamente (Ex), mucho (Mu), moderadamente (Mo), ligeramente (Li), nada (Na).



PREGUNTA 5. ¿Considera que si se elimina el ruido que le molesta en esta sala se sentiría mejor?

Respuestas: Si, No.



Discusión

Los resultados de la encuesta muestran que para la mayoría de las personas el ruido molesta moderadamente; aún y cuando se hizo hincapié en la percepción del ruido en una situación de enfermedad, la respuesta fue la misma. Sin embargo el 75% de las personas encuestadas consideran que si se elimina el ruido que les molesta se sentirían mejor.

La pregunta dos, cuya respuesta usa una escala numérica de 11 puntos (donde el 0 es el valor más bajo y 10 el más alto), sirve para determinar el porcentaje de personas "altamente molestadas" por el ruido. De acuerdo con Schultz⁵ para determinar dicho porcentaje se escoge entre el 27% y el 29% más alto de la escala de respuestas. Es decir, si se considera el 27% de la escala de 11 se tiene que, la suma de porcentajes de los tres puntos más altos de la encuesta representa el porcentaje de personas "altamente molestadas", en éste caso es el 13% de las personas encuestadas.

De las respuestas a la pregunta tres, se puede observar que el tipo de ruido que más molesta a la gente es el que hacen las personas al hablar, seguido del ruido que hacen los niños al llorar. Cabe recordar que el oído humano es más sensible a las frecuencias de entre 2 y 5 kHz, rango en el que, tanto la voz como el llanto de los niños⁶ tienen un importante contenido frecuencial.

Llama la atención que otra de las fuentes de ruido que más molesta a las personas es el ruido que viene de la calle. Debido a la conformación y materiales de la fachada, el ruido del exterior casi no se transmite al interior; sin embargo, la gente reportó que éste le molesta. Es probable que la gente al escuchar las palabras "ruido" y "calle" las relacionó con su experiencia en el exterior y no en

el espacio interior donde se encontraba en ese momento.

El estudio de la molestia causada por ruido es un problema bastante complicado debido a que en las repuestas de las personas influyen factores del ruido y personales. La evaluación que se realizó aquí se puede considerar como un estudio exploratorio del problema de molestia causada por ruido, debido a que para conocer el problema a profundidad se requiere de un estudio más amplio.

Con los resultados de esta encuesta no se puede asumir que el problema de ruido no es grave o que carece de importancia. Los resultados sólo permiten vislumbrar que existe el problema y permiten sugerir que la cantidad de personas que se siente molesta por el ruido debe ser tomada en cuenta. En lo que corresponde a la arquitectura, se deben mejorar los espacios desde el punto de vista acústico para evitar que los ruidos molesten a los usuarios.

Sin embargo aquí surge una pregunta, para evitar el efecto de molestia en las personas ¿cuánto ruido debe ser aceptable en las salas de espera de unidades médicas y en cada uno de los espacios arquitectónicos?. Ésta es una pregunta que debe ser respondida con un criterio de ruido que establezca valores adecuados de niveles sonoros.

De acuerdo con algunos autores, estos criterios, para una comunidad en particular, deben ser establecidos tomando en cuenta aspectos, culturales, económicos, personales y sociales, entre otros,⁷ de la comunidad que se trate, por la simple razón de que el ruido es un concepto psicológico y para cada persona o comunidad puede tener un significado diferente.

⁵ A. García, op. cit. p. 119.

⁶ Robert E. Apfel, *Deaf architects & blind acousticians*, p. 14.

⁷ D.A. Bies y C.H. Hansen, *Engineering noise control: theory and practice*, p.89.

Por lo tanto, es importante la participación de investigadores en diferentes áreas para tener el fundamento que determine dichos criterios de ruido, que aseguren el bienestar de los usuarios de los diversos espacios arquitectónicos.

Dentro de los factores personales y sociales que influyen en la molestia provocada por ruido, existen dos que, desde mi punto de vista son muy importantes y que en mi opinión deben ser estudiados para conocer el problema de la molestia del ruido para el caso particular de la ciudad de México:

- a) La habituación al ruido.
- b) La capacidad auditiva de las personas.

Estos factores deben conocerse antes de evaluar la molestia porque ésta puede ser diferente en personas que se han habituado al ruido y en aquellas que no escuchan adecuadamente o que tienen algún tipo de trastorno auditivo.

El primer factor no ha sido estudiado en la población mexicana y el segundo se ha estudiado de manera superficial debido a que no se cuenta con ningún programa de salud que lo investigue.

Los fisiólogos consideran que la habituación es el mecanismo por el que se alteran los niveles de sensibilidad (umbrales de respuesta). La habituación se da cuando desaparece la reacción o respuesta a un estímulo que ha sido repetido lo suficiente.

En la ciudad de México, por ejemplo, son muchas las fuentes de ruido que pueden alcanzar a la misma persona: en la calle, en el trabajo, en el entretenimiento, en el transporte, en el hogar. Es decir, hay una exposición continua al estímulo llamado "ruido" por lo que la gente en algún momento puede dejar de reaccionar ante éste y es cuando se escucha decir que se ha "acostumbrado" al ruido.

Sin embargo, algunas investigaciones⁸ muestran que la habituación no se da del todo y que tiene un costo fisiológico y psicológico traducido en problemas de la salud como son: incremento en la presión sanguínea, incremento del colesterol, problemas cardiovasculares, entre otros. Si los niveles sonoros son más altos y/o la exposición es prolongada, entonces la consecuencia es trastorno auditivo por ruido.⁹

El grado de habituación al ruido y sus consecuencias en los pobladores de la ciudad de México no se conocen, para ello también es preciso conocer las condiciones de ruido tanto en espacios exteriores como interiores y sin embargo, en ésta área también las investigaciones son escasas.^{10,11,12,13}

En cuanto a la capacidad auditiva de las personas, éste es un tema que también se ha estudiado poco en México. El sector salud no lo considera como un problema de salud pública por lo que no se han implementado programas para su investigación y solamente se han realizado algunas estimaciones que no dan información precisa con relación a las causas, los efectos y la frecuencia con que se dan los trastornos auditivos en la población. Tal es el caso de los siguientes estudios:

⁸ C. Lévy-Leboyer, *Psicología y medio ambiente*, p.113.

⁹ Vid. Supra. Capítulo 1, tabla 6. Efectos del ruido en las personas.

¹⁰ R.R. Boullosa and S.J. Pérez Ruiz, *An exploratory study of community noise levels in México city*, *Applied Acoustics* 1987; 22: 271-280.

¹¹ Adrián Poblano, et. al., Niveles de contaminación por ruido en una de las principales avenidas de la ciudad de México, *An ORL Méx.* 1995; 40 (2): 63-66.

¹² Armando E. Solís Chavés, et. al., *Detección de niveles de ruido y trauma acústico en una planta rehidratadora de leche*, *An ORL Méx.* 1999; 44 (1): 17-20.

¹³ Marta Orozco Medina, *Los niveles de ruido en Guadalajara*, *Revista de vinculación y ciencia*, No. 7, agosto de 2001.

a) Estudio realizado por el Instituto Nacional de la Comunicación Humana (INCH) en 16 estados de la República Mexicana.¹⁴

Entre enero de 1992 y noviembre de 1996 se realizaron pruebas de audiometría tonal en 7747 personas de entre 4 y 80 años. De las personas evaluadas, el 23.90% tuvo algún tipo de hipoacusia. Utilizando la clasificación de los niveles de pérdida auditiva que propone la OMS,¹⁵ los grados de hipoacusia encontrados en el estudio citado fueron: leve en el 11.20%, profunda en el 4.82% y severa en el 2%. Cabe mencionar que en ninguno de los casos la persona sabía que tenía el problema auditivo.

b) Estudio realizado por el Instituto Nacional de la Comunicación Humana (INCH) en el D.F. y Área Metropolitana.¹⁶

Entre 1993 y 1997 se atendieron a 15355 personas de diferentes edades (desde lactantes hasta mayores de 60 años). Al 25% de esta muestra se le realizaron pruebas de audiometría tonal, de las cuales el 20.15% presentó hipoacusia en algún grado. Utilizando la clasificación de los niveles de pérdida auditiva que propone el INCH,¹⁷ los grados de hipoacusia encontrados fueron: superficial en el 13.8%, media en el 2.26%, severa en el 0.88% y profunda en el 0.88%.

c) Estudio realizado por el INCH en salas de espera de diagnóstico del mismo instituto¹⁸.

Se analizaron a 689 personas en edades de entre 20 y 60 años. El 25.8% de estas personas

presentaron hipoacusia. De éstos, el 63.5% refirió que no oía bien y el 36.5% refirió que sí oía bien. El 16% de las personas que refirieron que sí oían bien presentaron pérdidas auditivas que aún no interfieren en los umbrales de la conversación por lo que aún no lo perciben.

d) Estudio realizado por la doctora Graciela Meza Ruiz, investigadora del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM¹⁹.

Se realizaron mediciones del ruido del tránsito vehicular en una esquina del Periférico registrando niveles de ruido de 90 y 100 dB (independientemente del día y la hora). Para comprobar el efecto dañino ocasionado por dicho ruido se midió la capacidad auditiva de 135 personas de entre 14 y 49 años de edad que habitan en la ciudad de México, se encontró daño severo en el 35% de estas personas. La doctora atribuye dicho daño al ruido y se pregunta que si cuando los trabajos del Periférico terminen los niveles de ruido llegarán a los 130 dB como consecuencia de un incremento en el ruido provocado por el aumento al doble o triple del tránsito vehicular.

Aquí cabe mencionar tres aspectos importantes de este estudio.

1. Se reporta que el nivel de ruido medido fue de 90 y 100 dB. Sin embargo no se especifica cómo se cuantificó el ruido.²⁰ Si bien es cierto que dichos niveles pueden ser considerados como "altos", es necesario conocer primero la forma en que se cuantificó para entonces poder afirmar que son los niveles representativos del ambiente sonoro del sitio y que son la causa de daño auditivo en las personas.

¹⁴ José Antonio Rodríguez Díaz, et. al., *Frecuencia de defectos auditivos en 16 estados de México*, An ORL Méx., 2001, 46 (3).

¹⁵ Vid. Supra, Capítulo 1, subcapítulo 1.5.

¹⁶ Eduardo Montes de Oca Fernández y María del Consuelo Martínez Wbaldo, *Estimación del problema auditivo en México*, An ORL Méx., 1999; 44 (1): 8-12.

¹⁷ Vid. Supra, Capítulo 1, subcapítulo 1.5.

¹⁸ Lucía Noguéz Trejo y María del Consuelo Martínez Wbaldo, *Percepción auditiva vs audiometría bnal en adultos sin valoración previa*, An ORL Méx., 2002; 47 (2): 29-32.

¹⁹ Graciela Meza Ruiz, *Una prisión invisible nos rodea (o el ruido enemigo público número 1)*, Gaceta territorio ambiental PAOT, 2004; 4 (2).

²⁰ Existen varias formas de cuantificar y describir el ruido. Vid. Supra, Cap. 1, subcapítulo 1.7.2.

2. Además, para que haya daño auditivo causado por ruido influyen dos aspectos: el tiempo de exposición y el nivel de ruido. Por ejemplo, para las personas expuestas a ruido continuo de 90 dB (A) durante una jornada de 8 horas por 10 años, sólo existe aproximadamente un 10% de riesgo de desarrollar una discapacidad auditiva.²¹ Por lo tanto no se puede afirmar que las personas que pasan o frecuentan por el lugar donde se realizaron dichas mediciones tengan daño auditivo por la exposición a este ruido.

3. Si se estima un aumento al doble del nivel de ruido medido, es decir 100 dB + 100 dB, el incremento en el nivel sonoro será a 103 dB y no a 130 dB como se afirma.

Conclusión

Los estudios antes citados sobre la estimación del trastorno auditivo en nuestro país sólo permiten conocer de manera general la cantidad de personas afectadas pero no se distinguen las causas exactas que provocan tal trastorno. Como se sabe, las causas son muy variadas y los trastornos se pueden dar desde el nacimiento o adquirirse a lo largo de la vida; por ello no se puede afirmar que el ruido es la única causa de la pérdida auditiva sin antes hacer una investigación sistemática que proporcione datos confiables.

Por otro lado, es importante conocer la habituación y capacidad auditiva de las personas para que cuando se haga una evaluación subjetiva (encuesta en nuestro caso), no se desestime la respuesta de molestia provocada por ruido. Podría suceder que el ruido no molesta o molesta poco porque la persona no escucha bien o porque se ha acostumbrado a él.

Por lo tanto, sin conocer la capacidad auditiva y la percepción subjetiva de las personas ante el ruido no se puede hablar de la magnitud del problema. Sin embargo, con la información que se obtuvo en

la encuesta se muestra que el problema existe, y la proporción de personas que respondieron que sí les molesta el ruido debe ser considerada para mejorar las condiciones de las salas de espera desde el punto de vista acústico.

Entonces, con base en ésta consideración y en los resultados de las mediciones de ruido, que mostraron niveles altos, se hace una propuesta de acondicionamiento acústico para reducir tales niveles en el caso de estudio que a continuación se describe.

5.4 Acondicionamiento acústico del caso de estudio

De las seis salas de espera del Hospital de Zona/UMF No. 8 (figura 1), se ha elegido una que represente el caso de estudio donde se hará una evaluación acústica y propuesta de acondicionamiento.

La sala que se eligió es la número 3, que se localiza al final de la planta alta, donde se ubicaron los puntos de medición 5 y 6 (figura 4), a esta sala en adelante la llamaré *recinto*.

La elección se hizo bajo las siguientes consideraciones:

a) Todas las salas tienen las mismas características arquitectónicas y los mismos materiales, por lo que no es necesario analizar cada una.

b) Al elegir una sola sala de espera se simplifica el cálculo, pues sólo se considerará el ruido generado en la misma sala y no el que proviene de otras zonas como son: la sala de espera contigua y la planta baja.

²¹ Vid. Supra, Cap. 1, subcapítulo 1.5.2.

5.4.1 Descripción del espacio

En el apartado 5.2 se dio una descripción general de las características arquitectónicas de las salas de espera de la unidad médica, que incluye la que se ha elegido como caso de estudio. Las características que a continuación se mencionan, del caso de estudio en concreto, son las que se requiere conocer para el análisis y propuesta de acondicionamiento que se harán más adelante:

- a) El recinto es de planta irregular (figura 4),
- b) El volumen es de aproximadamente 311 m^3 ,
- c) La superficie es de 368 m^2 ,
- d) La altura de piso a plafón es de 2.40 m .
- e) La capacidad de asientos es de aproximadamente para 30 personas.
- f) La superficie del vano entre el recinto y la sala contigua es de 7 m^2 ,
- g) La superficie del vano que está sobre el murete que colinda con la jardinera es de 6.5 m^2 ,
- h) La superficie del vano del piso es de 8 m^2 ,
La superficie del vano entre el recinto y el pasillo que conduce a otras áreas del hospital es de 2.4 m^2

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los vanos antes citados.

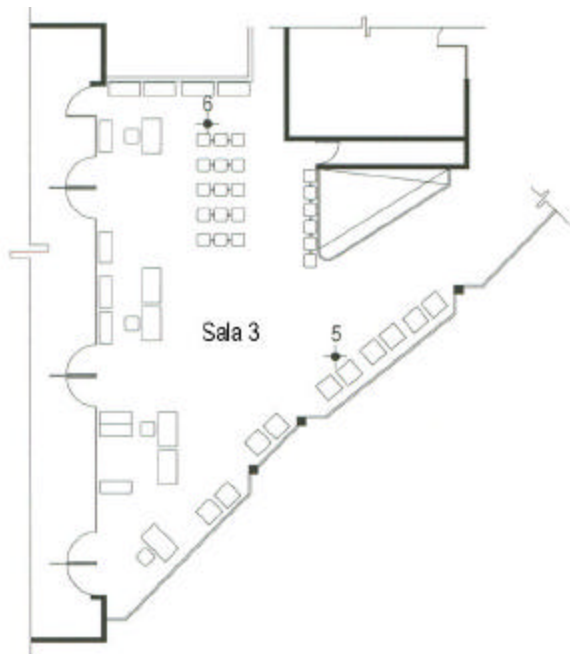


Figura 4. Sala donde se hará el acondicionamiento acústico.

En la figura 5 se muestra con letras las distintas superficies del recinto, cuyos materiales de acabados se enlistan a continuación de la figura.

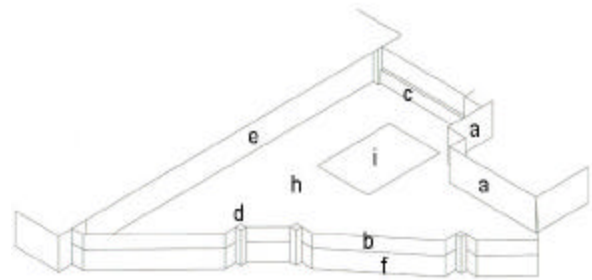


Figura 5. Representación esquemática de las superficies del recinto.

Acabados en superficies verticales:

- a) Muros de bloque de concreto pintado.
- b) Trabe de concreto forrada con panel de yeso.
- c) Murete de concreto con acabado rugoso.
- d) Columnas de concreto forradas de aluminio.
- e) Puertas y muros de consultorio con acabado de formica.
- f) Ventanas de vidrio.

Acabados en superficies horizontales:

- g) Plafón de panel de yeso.
- h) Piso de cerámica.

Otros

- i) Sillas de plástico
- j) Bancos de madera (no se aprecia en la figura 5).

Para el análisis de las condiciones acústicas de la sala se considera únicamente una zona de asientos para usuarios, por lo que la superficie de las sillas y bancos se representa con la letra "i" en la figura 5.

5.4.2 Condiciones acústicas del recinto antes del acondicionamiento

5.4.2.1 Transmisión del ruido

En el apartado 5.2 se describió las zonas por donde se da la transmisión de ruido aéreo al recinto. Esta transmisión de ruido se evitará considerablemente con los siguientes elementos:

- colocar una puerta entre el recinto y el pasillo que conduce a otras áreas del hospital;
- instalar un cancel entre el recinto y la sala contigua;
- eliminar el vacío del piso y
- colocar una ventana en el vano que está sobre el murete que colinda con la jardinera.

Para garantizar un aislamiento adecuado a ruido aéreo, con los elementos antes mencionados, se deben seguir las consideraciones hechas en el capítulo 4, subcapítulo 4.8.2.

En el capítulo 3 se presentaron los resultados de cada una de las mediciones de ruido en las salas de espera del Hospital de Zona/UMF No. 8. En la tabla 1 se presentan sólo los niveles registrados en los puntos 5 y 6 de las cuatro mediciones realizadas, éstos puntos son los que se localizan en la sala objeto de este estudio.

Tabla 1. Valores de ruido medidos en el recinto.

Punto	Medición			
	1	2	3	4
	Nivel de presión sonora L_p dB (A)			
5	67.0	62.8	61.7	68.3
6	65.1	57.4	60.5	65.4

Se comentó que estos niveles sonoros podrían generar molestia en los usuarios; sin embargo, éste no es el único problema causado por el ruido como se verá a continuación.

5.4.2.2 Nivel de voz para una comunicación adecuada

Mantener una comunicación adecuada en la sala de espera, en términos de inteligibilidad y nivel sonoro, entre el personal (repcionistas o médicos) y los usuarios, es también un aspecto importante a considerar cuando se tienen niveles altos de ruido.

El grado de inteligibilidad del mensaje oral que llega a los usuarios (se verá con detalle más adelante), depende del nivel sonoro de dicho mensaje, que se ve afectado por el nivel de ruido de fondo.

El nivel de voz que debe emplear la persona que habla depende de la respuesta subjetiva de ésta tiene ante el nivel de ruido de fondo. Es decir, qué nivel de voz piensa la persona que habla (nivel "estimado") que debe emplear para hacerse escuchar a cierta distancia en un ambiente con ciertos niveles de ruido.

Ambos efectos, el del nivel requerido para una adecuada inteligibilidad y el del nivel "estimado", pueden ser cuantificados con la figura 6. En esta figura se puede entrar con cualquiera de los dos datos siguientes:

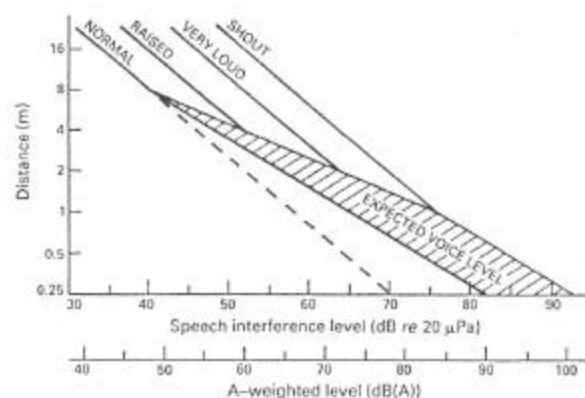


Figura 6. Evaluación del nivel de voz con respecto a la distancia y el ruido de fondo.²²

²² D.A. Bies & C.H. Hansen, op. cit., p. 79.

a) Nivel de interferencia con el habla.

Este nivel, en decibeles, es el promedio aritmético del nivel de presión sonora en las cuatro bandas de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz. Estas frecuencias son las más importantes para entender el mensaje hablado por ser las que más contribuyen al nivel de la voz, como se observa en la figura 7²³.

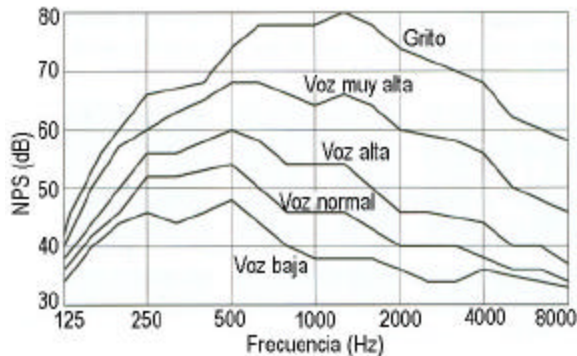


Figura 7. Contribución frecuencial al nivel de voz.

b) Nivel de ruido de fondo.

Alternativamente puede ser usado el nivel de ruido de fondo (en decibeles A), aunque con un poco menos de precisión.

En la figura se indica (zona sombreada) el nivel de voz estimado o respuesta subjetiva promedio del hablante a varios niveles de ruido de fondo.

Habiendo entrado a la figura 6 con cualquiera de estos dos datos se puede conocer el nivel de voz requerido para hacerse escuchar a diferentes distancias. Para una comunicación frente a frente, con una voz masculina "promedio", el nivel de ruido de fondo (eje de las abscisas) mostrado en la figura 6 corresponde al límite superior para tener una comunicación aceptable a una distancia determinada (eje de las ordenadas). Para voz femenina, el nivel de interferencia con el habla o el nivel en ponderación A mostrados en la abscisa, debe reducirse en 5 dB o mover la escala hacia la derecha 5 dB.

El análisis de las condiciones en que se encuentra nuestro caso de estudio se hará bajo las siguientes consideraciones:

- a) Las superficies de la sala son altamente reflejantes.
- b) Las personas que desean ser escuchadas son mujeres (repcionistas, en éste caso) y están representadas con los puntos A, B y C en la fig. 7.
- c) Los puntos 1 al 10 de la figura 8 representan la ubicación de los usuarios (hasta el lugar donde debe escucharse la voz de las repcionistas).
- d) Se consideran los niveles de presión sonora medidos en el recinto: 68.3 dB (A) (el más alto registrado) y de 57.4 dB (A) (el más bajo registrado)

Habiendo entrado a la figura 6 con los NPS mencionados y la distancia entre la repcionista y el usuario, se observa en la tabla 2 los niveles de voz que deben emplear las repcionistas cuya ubicación se indica con los puntos A, B y C, para hacerse escuchar por los usuarios ubicados en los puntos indicados con los números 1 a 10.

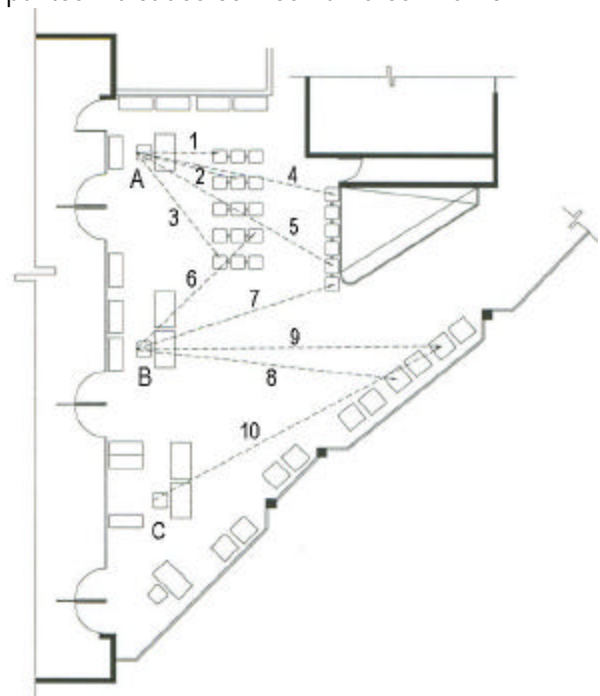


Figura 8. Localización de los hablantes y escuchas en el recinto.

²³ Antoni Carrión, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, p.46.

Se observa que bajo condiciones de niveles sonoros muy altos, de 68 dB (A), las recepcionistas deben hablar con voz elevada para hacerse escuchar a los puntos más cercanos ubicados hasta aproximadamente 4 metros, a partir de esta distancia su voz debe ser muy fuerte y gritar para que sean escuchadas en los puntos más lejanos.

Tabla 2. Nivel de voz requerido.

Emisor (receptora)	Escucha (usuario)	Distancia entre puntos	L_p dB (A) (ruido)	
			68	57
			Nivel de voz requerido	
A	1	2.5	R	N
	2	3	R	N
	3	4	R-VL	N-R
	4	6	VL	R
	5	7	VL-S	R
B	6	5	VL	N-R
	7	6.5	VL	R
	8	8	VL-S	R- VL
	9	9	VL-S	R- VL
C	10	10	S	R- VL

N = voz normal, R = elevada, VL = muy fuerte, S = grito.

Para niveles de ruido de 57 dB (A) el nivel de voz es normal en los puntos cercanos al hablante, hasta aproximadamente 5 metros; sin embargo, para los puntos más alejados se requiere de una voz entre elevada y muy fuerte.

La tabla 3 muestra el nivel de presión sonora a 1 metro²⁴ y el nivel de potencia, ambos para diferentes tonos de voz de hombre y mujer. El nivel de potencia ha sido calculado con base en el nivel de presión sonora mostrado.

A continuación se presenta el cálculo únicamente para el caso del nivel susurro $L_p = 20$ dB, para los demás casos el procedimiento se realiza de la misma forma.

El cálculo del nivel de potencia de susurro se realiza con la siguiente ecuación:

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4 * P * r^2} \right)$$

Donde:

L_p es el nivel de presión sonora re 20 μ Pa a una distancia de la fuente (dB).

L_w es el nivel de potencia sonora re 10^{-12} W (dB).

Q = Directividad de la fuente, depende del ángulo de emisión. Para una fuente omnidireccional $Q = 1$.

r = distancia de la fuente sonora al receptor (m).

Esta ecuación del nivel de presión sonora considera únicamente la energía sonora que llega de manera directa de la fuente, debido a que r es de 1 m, donde se supone predomina el sonido directo sobre el sonido reverberante.

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$L_w = 20 - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4 * P * 1^2} \right) = 31 \text{ dB}$$

Tabla 3. Nivel sonoro de diferentes tonos de voz.

Fuente sonora		L_p a 1m (dB)	L_w (dB)
Nivel susurro		20	31
Conversación tranquila:	H	30	41
	M	25	36
Conversación normal:	H	55	66
	M	50	61
Hablando en público sin esforzarse:	H	65	76
	M	60	71
Hablando en público esforzándose:	H	75	86
	M	70	81
Gritando:	H	85	96
	M	80	91
Potencia máxima:		90	101

H = Hombre, M = Mujer

Del análisis anterior se concluye que se deben reducir los niveles de ruido para tener una comunicación aceptable entre usuarios y trabajadores, (en inteligibilidad del habla por el escucha y el nivel de voz necesario en el hablante).

²⁴ Manuel Recuero, *Ingeniería acústica*, p. 306.

5.4.2.3 Tiempo de reverberación

Uno de los requisitos básicos para conseguir un ambiente confortable y una correcta inteligibilidad de la palabra es que el tiempo de reverberación sea el adecuado para el tipo de espacio.

El proceso de cálculo para conocer el tiempo de reverberación del caso de estudio es el siguiente, (los resultados se muestran en la tabla 4):

1. Calcular el volumen del recinto.
El volumen es de aproximadamente 311 m³. Se considera que el recinto es un espacio cerrado, es decir, que el ruido de otras áreas no se transmite al recinto. Esto para simplificar el análisis.
2. Determinar los coeficientes de absorción α para las bandas de octava de entre 125 y 4000 Hz de los materiales de acabado del recinto y la superficie S que cubre cada uno.

Debido a que en la literatura existente no se encontraron los datos de absorción para algunos

materiales del recinto, estos han sido sustituidos por otros similares, tal es el caso de los siguientes:

- los coeficientes de absorción para los muros y puertas recubiertos de formica se sustituyeron por los de madera barnizada.
- Las sillas de plástico se sustituyeron por bancos de madera. Los coeficientes de éstos son por m² de área y se consideran ocupados.
- Los coeficientes de absorción para las columnas recubiertas con aluminio se consideraron como 0, debido a que es una superficie altamente reflejante.

3. Calcular las componentes $S\alpha$ de la absorción existente en Sabines métricos (A).
4. Calcular, mediante la ecuación de Sabine, los valores de los tiempos de reverberación para las bandas de octava de entre 125 y 4000 Hz.
5. Calcular los promedios del coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$, correspondiente a cada una de las bandas de frecuencia; así como el área de absorción existente en Sabines métricos (A).

Tabla 4. Cálculo del tiempo de reverberación del recinto antes del tratamiento acústico.

ELEMENTO	MATERIAL	ÁREA (m ²)	FRECUENCIA (Hz)											
			125		250		500		1000		2000		4000	
		(S)	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá
Muros	^a concreto pintado	21,36	0,010	0,214	0,010	0,214	0,010	0,214	0,020	0,427	0,020	0,427	0,020	0,427
Trabe	^b panel de yeso	19,73	0,290	5,722	0,100	1,973	0,050	0,987	0,040	0,789	0,070	1,381	0,090	1,776
Murete	^a aplanado rugoso	4,65	0,025	0,116	0,026	0,121	0,060	0,279	0,085	0,395	0,043	0,2	0,050	0,233
Columnas	aluminio	2,52	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
Puertas	^c madera barnizada	40,70	0,100	4,07	0,110	4,477	0,100	4,07	0,080	3,256	0,080	3,256	0,110	4,477
Ventanas	^c vidrio	27,62	0,050	1,381	0,030	0,829	0,020	0,552	0,020	0,552	0,030	0,829	0,020	0,552
Piso	^b loseta cerámica	121,60	0,010	1,216	0,010	1,216	0,010	1,216	0,010	1,216	0,020	2,432	0,020	2,432
Plafón	panel de yeso	129,50	0,290	37,56	0,100	12,95	0,050	6,475	0,040	5,18	0,070	9,065	0,090	11,66
Vanos	se sustituye por vidrio	15,87	0,050	0,794	0,030	0,476	0,020	0,317	0,020	0,317	0,020	0,317	0,020	0,317
	se sustituye por loseta	7,90	0,010	0,079	0,010	0,079	0,010	0,079	0,010	0,079	0,020	0,158	0,020	0,158
Personas	^b en banco de madera	11,00	0,570	6,27	0,610	6,71	0,750	8,25	0,860	9,46	0,910	10,01	0,860	9,46
Área total de absorción		402,46												
Coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$			0,143		0,072		0,056		0,054		0,07		0,078	
Absorción existente en Sabines m ² (A)				57,42		29,04		22,44		21,67		28,08		31,49
Tiempo de reverberación existente en segundos			0,87		1,72		2,23		2,31		1,78		1,59	
Tiempo de reverberación sin incluir la absorción producida por las personas			0,98		2,24		3,53		4,10		2,77		2,27	

Fuentes: ^a Llinares (1996), ^b Cavanaugh (1999), ^c Recuero(1999).

Como se observa en la tabla 4 los coeficientes medios de absorción en cada una de las bandas de frecuencia son pequeños, y por lo tanto, los tiempos de reverberación son grandes (aún considerando un elevado grado de ocupación), principalmente en las bandas de 500 Hz y 1000 Hz. Este tiempo se incrementa más aún cuando no se considera en el cálculo la absorción producida por las personas (ocupación reducida).

Nota: Los cálculos posteriores se realizan sólo en la banda de 500 Hz, por que usualmente se considera que es un indicador adecuado.

Un recinto que tiene un tiempo de reverberación grande se denomina "vivo", el grado de viveza se puede estimar con la figura 9.²⁵ Para determinar la calidad de nuestro recinto en función del tiempo de reverberación (considerando un elevado grado de ocupación) se entra a la figura con los datos (de la banda de 500 Hz) del coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$ (0.056) y del área total de absorción (402 m²).

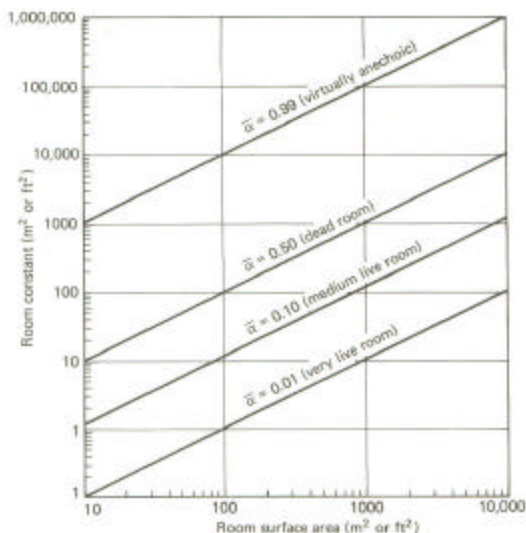


Figura 9. Coeficiente medio de absorción como parámetro de un recinto.

De acuerdo con la figura 9, nuestro recinto se encuentra dentro de la clasificación de "muy vivo"

y "medianamente vivo". En este tipo de recintos ocurre el siguiente efecto.

5.4.2.4 Efecto "fiesta de cóctel"

Cuando las personas están hablando en un recinto de este tipo se incrementa el ruido de fondo por las conversaciones, ante este incremento las personas reaccionan elevando el nivel de voz, entonces el nivel de ruido de fondo se incrementa aún más y las personas también elevan aún más su nivel de voz para hacerse escuchar. Este efecto prevalece en espacios llamados acústicamente "vivos" y muy concurridos, como sucede en nuestro caso de estudio, como se demuestra a continuación:

1o. Calcular el nivel de potencia de L_w para diferentes niveles de voz. (Se presenta el cálculo solo para el caso de L_w para 5 personas con voz normal, para los demás casos el procedimiento se realiza de la misma forma). Los resultados se presentan en la tabla 5.

Nota 1: para simplificar el cálculo se considera que todas las personas que hablan son mujeres. De la tabla 3 se toman los datos del L_w de la voz y con ellos se hace el cálculo del nivel de potencia cuando están hablando varias personas al mismo tiempo y con diferentes niveles.

Cálculo: L_w para 5 personas con voz normal.

a) Calcular la potencia W de voz normal para una persona.

Si conocemos que $L_{w1\text{persona}} = 61 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ W}$, entonces, de la siguiente ecuación se obtiene la potencia W correspondiente a ese nivel.

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \quad 61 = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right)$$

$$W = 1.2 \times 10^{-6}$$

²⁵ J.D. Irwin & E.R. Graf, *Industrial noise and vibration control*, p.164

a) Conociendo la potencia W de voz normal para una persona se calcula el nivel de potencia L_w para 5 personas.

$$L_{w_{5\text{ personas}}} = 10 \log_{10} 5 + 10 \log_{10} \left(\frac{1.2 \times 10^{-6}}{10^{-12}} \right)$$

$$L_{w_{5\text{ personas}}} = 6.9 + 61 = 67.9 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ W}$$

Tabla 5. Nivel de potencia de la voz normal y voz alta sin esforzarse de un conjunto de personas (mujeres).

No. de personas	L_w re 10^{-12} W	
	Voz normal	Voz alta sin esforzarse
2	64	74
5	68	78
8	70	80
10	71	81
20	74	84
30	76	86
40	77	87

2o. Determinar el nivel de presión sonora L_p debido a las personas que hablan, en condiciones de campo reverberante, (la distancia fuente-escucha es relativamente grande, de tal forma que el nivel del sonido reverberante es mayor al del sonido directo).

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} \right)$$

Donde:

L_p es el nivel de presión sonora re $20 \mu\text{Pa}$ (dB)

L_w es el nivel de potencia sonora de la fuente re 10^{-12} W (dB)

R = constante del recinto

$$R = \frac{A}{1 - \alpha}$$

Donde:

$A = S\bar{\alpha}$ = absorción total en Sabines (m^2)

$\bar{\alpha}$ = coeficiente medio de absorción

Esta ecuación del nivel de presión sonora considera únicamente la energía del sonido reflejado (debido a que se requiere conocer el L_p en un punto cualquiera del recinto alejado de la fuente).

Nota 2: se considera que la principal contribución al nivel de presión sonora medido (tabla 1) en el recinto proviene de las personas que hablan (en el mismo recinto y en áreas contiguas).

Nota 3: Con base en observaciones realizadas en el sitio, se estima que en horas de mayor afluencia de usuarios en el recinto, el máximo número de personas que podría estar hablando al mismo tiempo es de aproximadamente 8.

Nota 4: se supone que la distancia de conversación es de 0.5 m.

a) Se calcula la constante del recinto R con los valores mostrados en la tabla 4 (para la banda de 500 Hz) de la absorción total $A = 22.44$ y del coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha} = 0.056$.

$$R = \frac{A}{1 - \alpha}$$

$$R = \frac{22.44}{1 - 0.056} = 23.77$$

Se obtiene L_p

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} \right)$$

Los datos del L_w de las personas hablando se toman de la tabla 5.

A continuación se muestra el cálculo del L_p para el caso de 2 personas hablando (para más personas el procedimiento es de la misma forma). Los resultados se muestran en la tabla 6.

Sustituyendo las variables de la ecuación anterior por valores numéricos, se tiene lo siguiente:

$$L_p = 64 + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{23.77} \right) = 56.26 \text{ dB (A)}$$

Tabla 6. Nivel de presión sonora de la voz normal de un conjunto de personas.

Personas hablando	L_w	Nivel de presión sonora en campo reverberante L_p dB (A)
2	64	56
5	68	60
8	70	62
10	71	63
20	74	66
30	76	68
40	77	69

En la tabla 1 se observa que el valor más alto de ruido medido en el recinto es de 68 dB (A), para este nivel de presión sonora está contribuyendo la voz de 30 personas hablando simultáneamente (tabla 6). Considerando las notas 2 y 3, se observa en la tabla 6 que para alcanzar este nivel de 68 dB y otros mayores el ruido también proviene de otras áreas. Si sólo 8 personas, en la sala, estuvieran hablando simultáneamente, entonces el nivel del ruido de fondo debería ser de alrededor de 62 dB.

Se considera que el efecto del ruido de fondo es despreciable para tener una conversación adecuada en términos de inteligibilidad, cuando éste se encuentra, como mínimo, 12 dB por debajo del nivel de la señal.²⁶

En éste caso, el nivel de la señal, voz normal de mujer a 0.5 m de distancia (distancia aproximada entre dos personas que conversan) es de 56 dB. Entonces, para que la conversación sea adecuada el ruido de fondo debería ser de aproximadamente 44 dB (A); sin embargo, es de 62 dB (A). Por lo tanto, con éste nivel de ruido la gente incrementa su nivel de voz.

De la tabla 5 vemos que para un nivel de voz más alto que el normal, L_w para 8 personas es de 80 dB, calculamos el L_p del ruido de fondo para este nivel de voz.

$$L_p = 80 + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{23.77} \right) = 72 \text{ dB (A)}$$

Se observa que el nivel de presión sonora incrementó 10 dB, (el recinto se percibe ahora como dos veces más ruidoso) ante lo cual, la gente responderá incrementando aún más su nivel de voz, es entonces cuando se genera el efecto "fiesta de cóctel".

5.4.2.5 Distancia crítica

El conocimiento de la distancia crítica es de utilidad para conocer la distancia hasta la cual la inteligibilidad de la palabra es adecuada. El cálculo de la distancia crítica se realiza con la siguiente ecuación:

$$D_c = 0.14 \sqrt{QR} \text{ (en metros)}$$

Donde:

Q = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada. En este caso la fuente sonora es la voz de las recepcionistas. El factor de directividad de la voz humana en la dirección frontal es 2.

R = constante del recinto (se calculó anteriormente para la banda de 1 octava con frecuencia central de 500 Hz).

Sustituyendo valores se obtiene lo siguiente:

$$D_c = 0.14 \sqrt{2 * 23.77} = 1 \text{ m}$$

La distancia crítica es de 1 m, esto significa que cualquier usuario que se encuentre a más de esta distancia de la recepcionista se encontrará en la zona de campo reverberante, donde la inteligibilidad de la palabra no es buena como se verá en el siguiente subcapítulo.

Se mostrará más adelante que cuanto mayor es el grado de absorción de un recinto, mayor será el valor de la constante de la sala R , habrá un incremento de la distancia crítica y menor será el nivel de presión sonora de campo reverberante.

²⁶ Antoni Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, p.68.

5.4.2.6 Inteligibilidad de la palabra

El grado de inteligibilidad de un mensaje oral está estrechamente relacionado con la reverberación del recinto. Si el tiempo de reverberación es grande evitará que las consonantes (que tienen un importante contenido de altas frecuencias y determinan la comprensión del mensaje) se perciban correctamente.

Una vez conociendo el tiempo de reverberación se puede determinar las condiciones del recinto en cuanto a la inteligibilidad con que es recibido un mensaje sonoro (en este caso, el proveniente de las recepcionistas) en cualquier punto (ubicación de los usuarios). La cuantificación del grado de inteligibilidad se puede realizar con diferentes parámetros²⁷, en este caso, se realiza mediante el porcentaje de Pérdida de Articulación de Consonantes, %ALCons (porcentaje Articulation Loss of Consonants). Con éste parámetro se mide el porcentaje de consonantes que se pierden durante la transmisión de un mensaje en un espacio dado.

El cálculo se hará para la banda de 2 kHz, porque ésta es la que tiene la mayor contribución a la inteligibilidad de la palabra (tabla 7).

Tabla 7. Contribución a la inteligibilidad de la palabra²⁸.

Frecuencia (Hz)	%
250	5
500	13
1000	20
2000	31
4000	26
8000	5

El cálculo del %ALCons se realiza con las siguientes ecuaciones:

Para: $r > 3.16 Dc$

$$\%ALCons = \frac{200r^2TR^2}{VQ}$$

Para: $r > 3.16 Dc$ $\%ALCons = 9TR$

Donde:

r = distancia entre el emisor y el receptor, (en m)

TR = tiempo de reverberación de la sala (en s)

V = volumen del recinto

Q = factor de directividad

Dc = distancia crítica

Las distancias entre el emisor (recepcionista) y el receptor (usuarios) para las cuales se calculará el %ALCons son las mismas que se consideraron en el apartado 5.2.2.1.

El tiempo de reverberación para la banda de 2 kHz es de 1.78 (tabla 4). El valor de la distancia crítica es de 1 m (se determinó en el apartado anterior), por lo tanto: $3.16Dc = 3.16$.

Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.

Emisor	Receptor	Distancia entre puntos	%ALCons	Valoración subjetiva
A	1	2.5	6.36	Aceptable
	2	3	9.16	Aceptable
	3	4	16	Pobre
	4	6	16	Pobre
	5	7	16	Pobre
B	6	5	16	Pobre
	7	6.5	16	Pobre
	8	8	16	Pobre
	9	9	16	Pobre
C	10	10	16	Pobre

Se observa en la tabla 8 lo siguiente:

a) Cuanto más cerca está el receptor del emisor el valor del %ALCons es menor, es decir, que hay mayor inteligibilidad.

b) El valor de %ALCons aumenta a medida que la distancia entre emisor y receptor es más grande hasta una distancia igual a $r = 3.16 Dc$. Para distancias mayores a 3.16 metros el %ALCons tiende a ser constante, es decir, que a partir de esta distancia la inteligibilidad de la palabra ya no empeora.

²⁷ Más información sobre éstos parámetros está disponible en: <http://www.meyersound.com/support/papers/speech/section4.htm#alcons>

²⁸ Carrión, op. cit., p. 46.

Más adelante se mostrará que cuando el tiempo de reverberación se disminuye, el %ALCons también disminuye y por lo tanto la inteligibilidad será mejor.

5.2.3 Propuesta de acondicionamiento

Una vez conocidas las condiciones acústicas del recinto y los problemas que se generan, en este apartado se hace una propuesta de acondicionamiento.

Debido a que los problemas de ruido y de inteligibilidad de la palabra en la sala son generados por las características de recinto "vivo" se propone disminuir el tiempo de reverberación.

El tiempo de reverberación es directamente proporcional al volumen del espacio e inversamente proporcional a la absorción total del recinto. Entonces, modificando cualquiera de éstas dos variables se puede obtener el tiempo de reverberación adecuado.

No existen tiempos de reverberación óptimos universalmente aceptados, pero sí es evidente la dependencia de éstos con la actividad que se desarrolla en el recinto y con el volumen del mismo. A continuación se muestran algunas recomendaciones de tiempos de reverberación aplicables a nuestro caso de estudio.

a) En la tabla 9 se muestran tiempos de reverberación recomendados de acuerdo a la actividad auditiva que predomina en el recinto.²⁹

Tabla 9. Tiempos de reverberación recomendados.

Actividad auditiva genérica	TR en s	calidad
Silencio-lenguaje	0.4-0.6	Muy corto
Atención-lenguaje	0.5-0.9	Corto
Audición-lenguaje	0.8-1.2	Corto a medio
Atención, privacidad-lenguaje	0.6-1.4	Corto a medio

²⁹ Manuel Rodríguez Viqueira, *Introducción a la arquitectura bioclimática*, p. 192. Apud, R.B. Newman, *Acoustics in Callender*, Time Saver Standards for Architectural Design, New York, McGraw-Hill, 1974.

b) En la figura 10 se muestra el tiempo de reverberación recomendado para diferentes áreas de recintos para la salud. Estas recomendaciones se encuentran en *The white book sector guide series* de la empresa de consultoría británica HealthSpect.³⁰

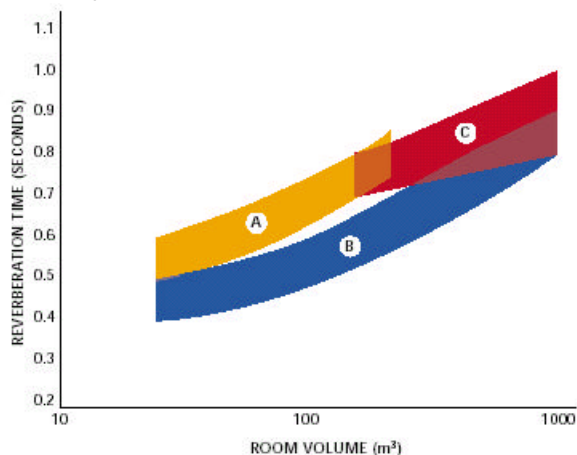


Figura 10. Tiempo de reverberación en función del volumen y el tipo de espacio de recintos para la salud.

A: oficinas privadas, salas de juntas, consultorios. B: quirófanos, cuartos de encamados, salas de espera, laboratorios, lavanderías, cocinas. C: salas de conferencias.

c) En la tabla 10 se muestran los tiempos de reverberación recomendados en la norma sueca SS 02 52 68 para diferentes zonas de recintos para la salud.

Tabla 10. Tiempos de reverberación recomendados.

Espacio	Clase de sonido ³¹ (segundos)		
	A	B/C	D
Sala para audiometrías	0.4	0.6	0.8
Consultorios, 1 paciente	0.8	-	-
Consultorios, varios pacientes	0.6	0.8	-
Sala de espera, sala de empleados	0.5	0.6	-
Sala de exploración para niños	.05	0.6	-
Otras salas de exploración	0.6	0.8	-
Oficinas, sala de descanso	0.6	0.8	-
Cocina, lavandería, comedor	0.5	0.6	0.8
Rehabilitación, fisioterapia	0.5	0.6	0.8
Gimnasio, piscina	1.0	1.2	1.5
Pasillos	0.6	0.8	1.0

³⁰ Información disponible en: www.british-gypsum.bpb.com (consultada en enero de 2005).

³¹ La explicación de la clase de sonido se dio en el Cap. 2, subcapítulo 2.6.

d) Para aplicaciones de lenguaje, el rango de tiempos de reverberación aceptables, como función del volumen del recinto se muestran en la figura 11.³²

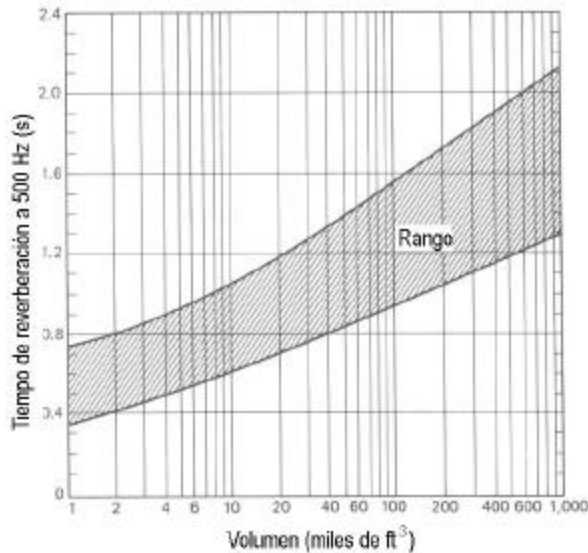


Figura 11. Tiempos de reverberación aceptables para aplicaciones de música y lenguaje.

Para convertir m³ a ft³ multiplicar por 35.3

El tiempo de reverberación mostrado en la figura 11 corresponde al óptimo en 500 Hz para asegurar buenas condiciones de escucha (lenguaje y música). Si el uso del recinto es exclusivamente para lenguaje se deben usar los valores inferiores del rango como criterio de diseño.

Cabe mencionar que en México se tiene una norma que establece tiempos de reverberación, ésta es la norma mexicana NMX-C-211-1977 "Tiempos óptimos de reverberación según la función de los claustros". Sin embargo, solamente está enfocada a recintos para música y lenguaje; (estudios para locución, estudios para grabación y transmisión de música y TV, salas de conciertos, templos, teatros de ópera y comedia y auditorios). En una sola gráfica define valores del tiempo de reverberación óptimo para la frecuencia de 1kHz en función del tipo de recinto y su volumen.

Se ha dicho que para mejorar las condiciones acústicas del recinto se debe controlar la reverberación (disminuirla) y esto se puede lograr disminuyendo el volumen y/o incrementando la absorción del mismo. En este caso se propone disminuir el tiempo de reverberación al óptimo, mediante el incremento de la absorción acústica. El cálculo es como a continuación se describe.

Procedimiento de cálculo

1. Especificar el tiempo de reverberación óptimo

Para definir el tiempo de reverberación óptimo se establecen como principal actividad auditiva el lenguaje y se considera que el recinto requiere condiciones de silencio. Entonces, para este caso particular, el *TR* considerado como apropiado se determinó con base en la siguiente información:

- de tabla 9, para silencio y lenguaje el rango del *TR* recomendado es de 0.4 a 0.6 segundos.
- de la figura 9, para sala de espera con volumen de 311 m³ el rango del *TR* sugerido es de 0.6 a 0.7 segundos.
- De acuerdo con la norma sueca, el *TR* óptimo y el aceptable son de 0.5 y 0.6 segundos respectivamente.
- de la figura 10, para recinto con aplicaciones de lenguaje y con volumen de 311 m³ el *TR* es de 0.6 segundos.

Por lo tanto, el *TR* óptimo para nuestro caso de estudio se fijó en 0.5 segundos, que es el valor menor que mejor cumple con los criterios mencionados en los párrafos anteriores.

2. Especificar los materiales que se usarán para incrementar la absorción acústica.

Para incrementar la absorción en el recinto se utilizarán los materiales analizados en el capítulo 4 y que se determinaron como los óptimos por sus características de sanidad y absorción acústica. En concreto, se trata de un elemento compuesto por los siguientes materiales:

³² J. D. Irwin & E. R. Graf, *Industrial noise and vibration control*, p.180.

- a) Panel de plástico reforzado con fibra de vidrio perforado. Las perforaciones serán circulares y estarán dispuestas en forma de cuadrícula, el diámetro de las perforaciones y la separación entre las mismas serán de 1.5 mm y 5 mm respectivamente.
- b) Fibra de vidrio de 2"
- c) Película de poliéster Mylar para cubrir la fibra de vidrio.

En la tabla 11 se muestran los coeficientes de absorción de incidencia normal del elemento antes descrito³³ y los valores correspondientes al coeficiente de incidencia aleatoria. Éste último coeficiente se obtuvo a partir del primero con la grafica de la figura 6 del capítulo 4.

Tabla 11. Coeficientes de absorción del elemento absorbente³⁴.

Frecuencia (Hz)					
125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorción de incidencia normal					
0.28	0.74	0.87	0.76	0.82	
Coeficiente de absorción de incidencia aleatoria					
0.5	0.94	1	0.96	0.98	

3. Definir cuáles son las superficies a tratar acústicamente.

Las superficies óptimas para colocar el material absorbente son el falso techo y la trabe de la fachada principal (figura 12) por las siguientes razones:

- Para evitar el eco flotante que se genera cuando una fuente sonora se ubica entre dos superficies paralelas y reflejantes, en éste caso la fuente sonora se ubica entre el falso plafón formado por panel de yeso y el piso de loseta cerámica.
- Para evitar que el material sea dañado por los usuarios.



Figura 12. Superficies a tratar acústicamente.

4. Definir la cantidad de absorción A que se requiere para disminuir el tiempo de reverberación a 0.5 segundos, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$TR = 0.161 \frac{V}{A}$$

Sustituyendo valores y despejando A se obtiene:

$$A = 0.161 \frac{311}{0.5} = 100 \text{ Sabines m}^2$$

5. Calcular la superficie que se cubrirá con material absorbente.

Se indicó en el punto 3 que las superficies óptimas para colocar el material absorbente son el falso techo y la trabe de la fachada principal (129.5+ 19.73=149 m²). Entonces, se debe determinar cuánta superficie de ésta se debe cubrir con el absorbente para lograr la absorción requerida de 100 Sabines m²

Se sabe que:

$$\bar{S}a = S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_n a_n$$

$$\bar{S}a = A = 100 \text{ Sabines m}^2$$

$$\bar{S}a = Sa(\text{absorbente}) + Sa(\text{otros materiales})$$

Sa (otros materiales), para la banda de 500 Hz se obtiene a partir del dato de la absorción total A de la tabla 4.

$$A = 22.44 \text{ Sabines m}^2$$

$$Sa(\text{otros materiales}) = 22.44 - 7.5 (\text{de trabe y techo})$$

$$Sa(\text{otros materiales}) = 15$$

³³ Vid. Supra, Cap. 4, figura 23.

³⁴ Para los cálculos posteriores, el valor del coeficiente de absorción de incidencia aleatoria para la banda de 4000 Hz se asume igual al de la banda de 2000 Hz. Recuérdese que el tubo de impedancia solamente permitió hacer mediciones hasta una frecuencia de aproximadamente 1980 Hz.

El α del material absorbente en la banda de 500 Hz es de 1.

Entonces:

$$S_{\text{absorbente}} = \frac{S\bar{a} + S a \text{ (otros materiales)}}{a \text{ (absorbente)}}$$

$$S_{\text{absorbente}} = \frac{100 - 15}{1} = 85 \text{ m}^2$$

Se requieren 85 m² de superficie absorbente, para cubrirlos se hace lo siguiente:

- Se colocar material absorbente en toda la superficie de la trabe (19.73 m²).
- Entonces, solamente se requieren 65 m² de material absorbente en el techo.
- El resto de la superficie del techo (129.5-64=64.5 m²) se deja con el material que actualmente tiene, cuya absorción es de 3.22 m².

- La absorción anterior se le resta a los 65 m² de material absorbente en el techo.
- Resulta entonces que sólo se requieren 62 m² de superficie absorbente en el techo para no exceder la absorción total necesaria de 100 Sabines m².

6. Calcular las componentes $S\bar{a}$ de la absorción total A (ver tabla 12).

7. Calcular los valores de los tiempos de reverberación para las bandas de octava de entre 125 y 4000 Hz. Los resultados se muestran en la tabla 12.

8. En el caso de que el valor calculado de TR corresponda al establecido como óptimo, el cálculo habrá terminado. De lo contrario se harán las modificaciones en el área de absorción.

Tabla 12. Cálculo del tiempo de reverberación del recinto después del tratamiento acústico.

ELEMENTO	MATERIAL	ÁREA (m ²)	FRECUENCIA (Hz)											
			125		250		500		1000		2000		4000	
		(S)	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá	á	Sá
Muros	*concreto pintado	21,36	0,010	0,214	0,010	0,214	0,010	0,214	0,020	0,427	0,020	0,427	0,020	0,427
	absorbente	19,73	0.50	9.86	0.94	18.55	1	19.73	0.96	18.94	0.98	19.34	0.98	19.34
Murete	*aplanado rugoso	4,65	0,025	0,116	0,026	0,121	0,060	0,279	0,085	0,395	0,043	0,2	0,050	0,233
Columnas	aluminio	2,52	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
Puertas	***madera barnizada	40,70	0,100	4,07	0,110	4,477	0,100	4,07	0,080	3,256	0,080	3,256	0,110	4,477
Ventanas	***vidrio	27,62	0,050	1,381	0,030	0,829	0,020	0,552	0,020	0,552	0,030	0,829	0,020	0,552
Piso	**loseta cerámica	121,60	0,010	1,216	0,010	1,216	0,010	1,216	0,010	1,216	0,020	2,432	0,020	2,432
Plafón	panel de yeso	67,50	0,290	19,58	0,100	6,75	0,050	3,37	0,040	2,7	0,070	4,72	0,090	6,07
	absorbente	62	0.50	31	0.94	58.28	1	62	0.96	59.52	0.98	60.76	0.98	60.76
Vanos	se sustituye por vidrio	15,87	0,050	0,794	0,030	0,476	0,020	0,317	0,020	0,317	0,020	0,317	0,020	0,317
	se sustituye por loseta	7,90	0,010	0,079	0,010	0,079	0,010	0,079	0,010	0,079	0,020	0,158	0,020	0,158
Personas	**en banco de madera	11,00	0,570	6,27	0,610	6,71	0,750	8,25	0,860	9,46	0,910	10,01	0,860	9,46
Área total de absorción		402,46												
Coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$			0.18		0.24		0.25		0.24		0.25		0.25	
Absorción existente en Sabines m ² (A)				74.58		97.70		100		96.86		102		104
Tiempo de reverberación existente en segundos			0.67		0.51		0.50		0.52		0.49		0.48	
Tiempo de reverberación sin incluir la absorción producida por las personas			0.73		0.55		0.55		0.57		0.54		0.53	

Se observa en la tabla 12 y en la figura 13 que el tiempo de reverberación para la banda de 500 Hz ha disminuido de 2.23 a 0.5 segundos, tiempo que se estableció como el óptimo para tener condiciones adecuadas de inteligibilidad de la palabra y un ambiente de ruido moderado.

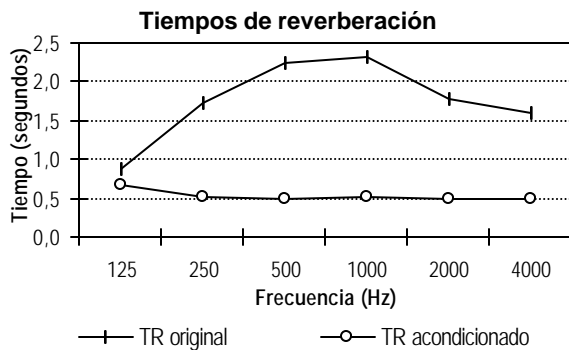


Figura 13. Tiempo de reverberación del recinto antes y después del tratamiento acústico.

5.2.4 Verificación de la propuesta de acondicionamiento

Se dijo que al agregar material absorbente en el recinto se disminuye el tiempo de reverberación y se da una reducción del nivel de presión sonora. Dicha reducción se obtiene con la siguiente relación:

$$\Delta Lp = 10 \log_{10} \frac{R_2}{R_1}$$

Donde:

ΔLp = Reducción de la presión sonora en dB (A)

R_2 = Constante del recinto después del tratamiento acústico

R_1 = Constante del recinto antes del tratamiento acústico.

$R_1 = 23.77$ (se calculó en el apartado 5.2.2.3)

$$R_2 = \frac{A}{1 - a} \qquad R_2 = \frac{100}{1 - 0.25} = 133.33$$

$$\Delta Lp = 10 \log_{10} \frac{133.33}{23.77} = 7.4 \text{ dB (A)}$$

La reducción de sonido se puede obtener de la tabla 13, conociendo el valor de la relación R_2/R_1 .

Tabla 13. Reducción del nivel de presión sonora.

R_2/R_1	Reducción en dB	R_2/R_1	Reducción en dB
1.0	0.0	5.0	7.0
1.5	1.8	5.5	7.4
2.0	3.0	6.0	7.8
2.5	4.0	6.5	8.1
3.0	4.8	7.0	8.5
3.5	5.4	7.5	8.8
4.0	6.0	8.0	9.0
4.5	6.5		

Bajo las condiciones de recinto "vivo" se consideró que son 8 las personas que podrían estar conversando al mismo tiempo en la sala y lo hacen con un nivel de voz normal, generando un nivel de presión sonora de campo reverberante (ruido de fondo), aproximadamente de 62 dB (A) (tabla6). Cuando se da el tratamiento acústico al recinto, habría una reducción del nivel de presión acústica de 7 dB y la percepción será de un ambiente aproximadamente 50% menos ruidoso. Si las 8 personas siguieran hablando con nivel de voz normal entonces el nivel de ruido de fondo (en campo reverberante) sería:

$$Lp = Lw + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} \right)$$

Donde

$Lw = 70$ dB

$R = 133.33$

Lo que daría como resultado:

$Lp = 55$ dB(A)

Para este caso particular, cuando el nivel de ruido original era relativamente alto, también lo era nivel de voz con el que tenían que hablar las personas. Si el ruido se disminuye 7 dB después del acondicionamiento, es de esperar que también disminuya el nivel de la voz de las personas en la misma proporción, es decir 7 dB.

Los resultados de este cálculo se muestran en la tabla 14, donde se observa lo siguiente:

El nivel de presión sonora en el recinto **original** cuando en él están conversando 8 personas (mujeres) con un nivel de voz normal.

- a) El nivel de presión sonora en el recinto **acondicionado** cuando en él están conversando:
- 8 personas (mujeres) con un nivel de voz normal.
 - 8 personas (mujeres) con un nivel de voz normal menos 7 dB.
 - 10 personas (mujeres) con un nivel de voz normal menos 7 dB.
 - 8 personas (6 mujeres y 2 hombres) con un nivel de voz normal menos 7 dB.
 - 8 personas (4 mujeres y 4 hombres) con un nivel de voz normal menos 7 dB.

Tabla 14. NPS en el recinto, dB (A).

	No. de personas (m = mujer, h = hombre)					
	8 m	8 m	8 m	10m	6 m y 2 h	4 m y 4 h
	Voz normal			Voz normal - 7 dB		
sala	Original	Acondicionada				
L_w	70	70	63	66	65	66
L_p	62	55	48	51	50	51

Se observa en la tabla 14 que después del acondicionamiento acústico se espera que las condiciones de ruido mejoren considerablemente. Los niveles que pueden generarse por las personas hablando están dentro del límite que se fijó (con base en la norma ANSI S12.2-1995) como aceptable (entre 46 y 51 dB (A)).

El nivel de voz requerido por el emisor (receptorista) para hacerse escuchar hasta el lugar donde se ubican los usuarios, con niveles de ruido de 46 y 51 dB (A), se muestra en la tabla 12. En ella se observa que después del tratamiento acústico del recinto el emisor puede hablar con voz normal para hacerse escuchar hasta los puntos más alejados donde pudiera ubicarse el usuario.

La valoración subjetiva, en términos de inteligibilidad del mensaje oral, que hará el receptor ubicado a diferentes distancias del emisor se muestra en la tabla 13. El cálculo del %ALCons se realiza como se indicó en el apartado 5.2.2.5

Tabla 15. Nivel de voz requerido.

Emisor	Receptor	Distancia entre puntos	L_p dB (A)	
			46	51
			Nivel de voz requerido	
A	1	2.5	-N	-N
	2	3	-N	-N
	3	4	-N	-N
	4	6	-N	N
	5	7	-N	N
B	6	5	-N	-N
	7	6.5	-N	N
	8	8	-N	N
	9	9	N	N-R
C	10	10	N	N-R

N = voz normal, R = elevada

Tabla 16. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.

Emisor	Receptor	Distancia entre puntos	%ALCons	Valoración subjetiva
A	1	2.5	0.5	excelente
	2	3	0.72	excelente
	3	4	1.3	excelente
	4	6	2.9	buena
	5	7	4	buena
B	6	5	2	buena
	7	6.5	3.5	buena
	8	8	4.5	buena
	9	9	4.5	buena
C	10	10	4.5	buena

Se observa en la tabla 13 que las características de inteligibilidad en el recinto han mejorado sustancialmente en comparación con aquellas del recinto antes del tratamiento acústico.

La inteligibilidad en el recinto acondicionado es excelente hasta una distancia menor que la distancia crítica, $D_c = 0.14\sqrt{2 * 133.33} = 2.29$ m y en todos los demás puntos, que corresponden al campo reverberante, la inteligibilidad es buena.

Conclusiones

Se ha demostrado que con un tratamiento acústico sencillo es posible reducir el tiempo de reverberación y crear un ambiente confortable, lo que significa que el campo sonoro existente no generará molestia significativa en los usuarios del recinto.

El tratamiento acústico también ha generado mejores condiciones desde el punto de vista de la inteligibilidad de la palabra y el nivel de voz que se debe emplear en la comunicación entre trabajadores y usuarios.

En caso de que se deseara reducir aún más el nivel de ruido, esto ya no se podría lograr con material absorbente porque bajaría, del óptimo, el tiempo de reverberación; entonces, el recinto resultaría muy silencioso y con ello se afectaría la privacidad de la conversación entre los usuarios. El camino que habría que seguir, sin modificar el tiempo de reverberación, sería una reducción en el volumen de la sala.

Es importante recordar que el recinto se consideró aislado del ruido de los espacios contiguos, es decir, que las fuentes externas al recinto tuvieron un efecto despreciable en el nivel de ruido de fondo. Con esto se logró una reducción significativa del ruido dentro del recinto. También cabe recordar que los niveles de ruido considerados fueron los que se registraron en la sala de espera número 3, que se consideró como caso de estudio (puntos de medición 5 y 6). Estos niveles de ruido no fueron los más altos registrados en toda la unidad médica, los más altos se registraron en la sala donde se encontraba una televisión con volumen muy intenso.

Finalmente cabe mencionar que los cálculos realizados son aproximados, al estar basados en la acústica estadística, lo cual implica que los resultados teóricos no tengan una precisión muy alta. Sin embargo, con una variación del 50% se

podría hablar de que la incertidumbre de los datos calculados es de aproximadamente ± 3 dB.

Todo lo anterior conduce a hacer las siguientes sugerencias para las salas de espera de unidades médicas:

- a) Se recomienda evitar vanos entre diferentes áreas para impedir la transmisión de ruido entre un espacio y otro.
- b) En lo posible, evitar los diseños de espacios con volumen muy grande porque ello incrementa el tiempo de reverberación.
- c) Se sugiere no utilizar materiales de acabado con superficie altamente reflejante porque éstos incrementan el tiempo de reverberación.
- d) Adecuar el tiempo de reverberación, mediante el uso de materiales absorbentes de sonido o modificando el volumen, para que éste permita condiciones de ruido moderado y condiciones adecuadas para la inteligibilidad de la palabra y el nivel de voz.
- e) Debe adecuarse un espacio, separado de la sala de espera, para la colocación de las televisiones, en la sala ésta tiene un efecto negativo, al pretender que sea escuchada por todos los usuarios el volumen es muy alto y esto incrementa considerablemente el nivel de ruido.
- f) Finalmente, se pueden lograr cálculos más exactos con el uso de programas de simulación acústica de recintos y sistemas de creación de sonido virtual como son ODEON (desarrollado en la Universidad Tecnológica de Dinamarca), CATT-Acoustics (desarrollado por la empresa sueca CATT), AURA (desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña), entre otros.

Si bien ninguno de los cambios propuestos implican una modificación sustancial de las características arquitectónicas del recinto, los cambios que se propone requieren el estudio de un sistema constructivo que tendrá ciertos costos de instalación y de mantenimiento. Sin embargo, el análisis de estos aspectos queda fuera del alcance de éste trabajo de investigación.

El ruido es un problema generado por las actividades humanas, se le encuentra en numerosos lugares y a cualquier hora del día. Estamos rodeados de fuentes sonoras sin control en el interior y en el exterior de las edificaciones, que afectan nuestra salud y bienestar. Sin embargo es un problema que puede ser medido objetivamente y que puede tener diversas soluciones desde el punto de vista arquitectónico.

Para dar una propuesta de control de ruido en un espacio arquitectónico, como se vio en este trabajo de investigación, es necesario tener como base un criterio de ruido que indique el nivel sonoro adecuado en cada tipo de espacio; pero aquí nos encontramos con un primer problema, la falta de información confiable.

El Reglamento de Construcciones, bajo el cual se rige la edificación, no le da la suficiente importancia al aspecto acústico, solamente señala tres disposiciones, así como la aplicabilidad de la Norma Oficial Mexicana (NOM) relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Sin embargo, con el cumplimiento de estas disposiciones no se resuelve el problema de la molestia provocada por ruido en un espacio como nuestro caso de estudio, se requieren disposiciones que abarquen este tipo de espacios y aspectos de comodidad. En el caso de las Normas Mexicanas (NMX), referentes a la acústica de recintos, en unos casos son obsoletas y en otros son limitadas, por lo que su aplicación deja duda sobre la calidad de los resultados obtenidos.

El apoyarse en normas o recomendaciones de otros países puede ayudarnos, pero es importante no perder de vista que aquellas son para una sociedad en particular, con características diferentes a la nuestra. En mi opinión hay una gran tarea que hacer en materia de legislación, pero ésta debe estar basada en conocimiento científico, actualizado y aplicable a la población mexicana para que sea una herramienta útil en el quehacer arquitectónico en nuestro país.

La falta de mayores exigencias en el Reglamento de Construcción y en las Normas Mexicanas y la ausencia del conocimiento de los principios acústicos han llevado a desestimar el problema de ruido por parte de los arquitectos, lo que ha motivado que en algunos casos en las edificaciones se tengan problemas de ruido, lo cual afecta a los usuarios de diversas maneras y evita que se desarrollen las actividades de forma adecuada.

Si bien es cierto que un espacio ya construido puede acondicionarse acústicamente con buenos resultados, como en nuestro caso de estudio, donde los análisis realizados mostraron que es factible reducir el nivel sonoro a un valor percibido como aproximadamente 50 por ciento menos ruidoso. Sin embargo sería más apropiado dar una solución desde antes de llevarse a cabo la obra para no modificar el planteamiento original al tener que hacer las modificaciones pertinentes. Por ello es importante que los involucrados en el diseño arquitectónico sean capaces de evaluar las repercusiones, desde el punto de vista acústico, que se puedan derivar de sus propuestas de diseño arquitectónico.

En lo que respecta a las unidades médicas, en éste género de edificación se están emprendiendo acciones específicas que inciden fundamentalmente en las áreas que tienen contacto directo con usuarios, tales como salas de espera y en aquellos elementos que contribuyen al confort y bienestar en los espacios físicos. Todo ello para posteriormente someter a la unidad médica a una evaluación de calidad y obtener una certificación; sin embargo, en los criterios de evaluación de la calidad no se incluyen aspectos acústicos.

Cada día mayor número de unidades médicas están buscando una certificación de la calidad de sus servicios; por ello, en mi opinión, esta es una buena oportunidad para promover el reconocimiento (por parte de la comisión certificadora de unidades médicas) del problema de ruido en los edificios para la salud, así como desarrollar y establecer los lineamientos, criterios y especificaciones acústicos que habrán de considerar los profesionales que realicen actividades inherentes a los proyectos, obras y conservación para infraestructura física del sistema de seguridad social.

Considerando que una edificación para la atención de la salud debería proporcionar espacios de tranquilidad y que una de las expectativas que tiene el usuario de estos espacios es la de un lugar sin ruido, hasta donde sea posible o hasta donde las actividades que ahí se desarrollen lo permitan, se recomienda hacer un diseño acústico para que los niveles sonoros sean los adecuados para que el ambiente contribuya al bienestar de los usuarios.

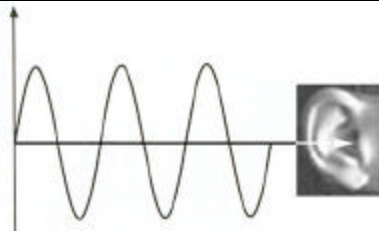
Ante la escasez de información confiable en nuestro país, el análisis de nuestro caso de estudio se basó en una norma de los Estados Unidos de Norteamérica porque es una norma que continuamente se revisa y no es tan estricta en los límites máximos de ruido permitido. En la propuesta de acondicionamiento acústico se buscó adecuar el nivel de ruido a tal norma sólo por tener una referencia en la cual apoyarse; sin embargo, en mi opinión y sólo por conjetura, considerando las características de formas de vida y costumbres de la población mexicana, se podrían aceptar niveles ligeramente más altos que el límite tomado como base (51 dB (A)), pero sin rebasar el límite señalado por varios autores como "ruido moderado", que es de 55 dB (A).

El diseño acústico de cualquier tipo de edificación básicamente afectaría la definición de las formas, el volumen y/o los acabados de las superficies interiores del recinto; sin embargo, aquí también nos encontramos con otro problema por la falta de información. No se conocen las características acústicas de muchos de los materiales y sistemas constructivos que se emplean en la construcción en México, nos podemos apoyar en la literatura sobre el tema existente en otros países; pero ello nos conduce a hacer un planteamiento basado en estimaciones.

Finalmente se concluye que el problema del ruido, debido a su complejidad, es necesario que sea atendido desde diferentes áreas, es de vital importancia la participación de las autoridades, investigadores, industriales, entre otros, que es conveniente que se genere la normatividad correspondiente, así como la información técnica adecuada que sirva de herramienta en la lucha contra el ruido.

CAPÍTULO 1

El ambiente acústico



FIGURAS

1. Propagación de una onda sonora en el aire.....	3
2. Evolución temporal de un sonido aleatorio.....	4
3. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 5 Hz.....	5
4. Señal y espectro de un sonido.....	6
5. Rango de frecuencia audible dividido.....	6
6. Periodo de ondas sonoras de 1 y 5 Hz.....	6
7. Longitud de onda para 1 y 5 Hz (temperatura de 22°C).....	6
8. Frecuencia y longitud de onda asociada.....	7
9. Fuentes sonoras que emiten ruido a diferente nivel.....	10
10. Fuentes sonoras que emiten ruido al mismo nivel.....	10
11. Fuentes sonoras que emiten ruido al mismo nivel.....	11
12. Nomograma para sumar y restar niveles sonoros.....	11
13. Reflexión de ondas sonoras.....	11
14. Difusión de ondas sonoras.....	11
15. Difracción de ondas sonoras.....	12
16. Refracción de ondas sonoras.....	12
17. Sonido directo y reflejado.....	13
18. Representación de la zona de campo directo y reverberante.....	13
19. Corte esquemático del oído.....	14
20. Efecto de la presión sonora en el tímpano.....	14
21. Nomograma relacionando la presión en Pascales con dB.....	15
22. Niveles audibles en función de la frecuencia.....	15
23. Respuesta en frecuencia para las escalas de ponderación.....	16
24. Representación esquemática de la cadena del ruido.....	17
25. Atenuación del sonido en campo libre por la distancia.....	19
26. Atenuación del sonido con la distancia.....	19
27. Esquemas de resonadores.....	20
28. Desplazamiento del umbral auditivo debido a la presbiacusia.....	21
29. Fotografía de células pilosas sanas.....	21
30. Fotografía de células pilosas dañadas.....	22
31. Daño auditivo por la exposición a ruido.....	22
32. Eventos de ruido y L_{Aeq}	25
33. Distribución acumulativa de niveles de ruido.....	25
34. Curvas de valoración NC, PNC, RC, NCB.....	26-28

TABLAS

1. Suma de decibeles.....	10
2. Corrección de decibeles para varias fuentes.....	10
3. Respuesta subjetiva a cambios de niveles sonoros.....	16
4. Corrección para ponderación A, B, C y D.....	17
5. Nivel de presión sonora de fuentes sonoras y su respuesta.....	18
6. Pérdida auditiva de acuerdo con la OMS e INCH.....	20
7. Efectos del ruido en las personas.....	23
8. Factores que contribuyen a la molestia causada por ruido.....	23
9. Respuesta subjetiva a diferentes sonoros.....	24
10. Niveles sonoros recomendados para diferentes espacios.....	29

CAPÍTULO 2

Arquitectura sanitaria en México



FIGURAS

1. Sistema nacional de atención médica (IMSS e ISSSTE)..... 32

CAPÍTULO 3

Medición del ruido



FIGURAS

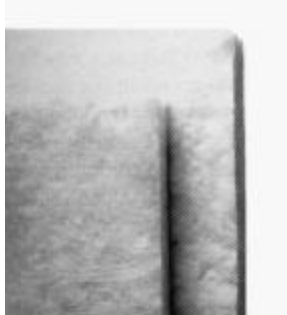
1. Hospital de Zona/Unidad de Medicina Familiar No. 8 y Hospital de Gineco obstetricia No. 4..... 44
2. Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos..... 44
3. Centro Médico Nacional 20 de Noviembre..... 44
4. Hospital de Zona/UMF No. 8, planta arquitectónica alta..... 45
5. Hospital de Zona/UMF No. 8, planta arquitectónica baja..... 46
6. Hospital de Gineco obstetricia No. 4, planta arquitectónica..... 47
7. Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos, planta arquitectónica..... 48
8. Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, planta arquitectónica..... 49
9. Sistema de medición..... 51
10. Micrófono de campo difuso..... 51
11. Audiograbadora DAT..... 51
12. Analizador de frecuencia de tiempo real..... 51
13. Calibrador de nivel sonoro marca B&K, modelo 4230..... 52

TABLAS

1. Registro del ruido ambiental..... 52
2. Valores de ruido sugeridos para espacios para la salud..... 53
3. Valores de ruido establecidos en normas para espacios para la salud. 54
4. Mediciones en el Hospital de Zona/UMF No. 8..... 56
5. Mediciones en el Hospital de Gineco obstetricia Dr. Luis Castelazo..... 57
6. Mediciones en el Hospital Regional Lic. Adolfo López Mateos..... 58
7. Mediciones en el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre..... 59
8. Contribución al nivel de voz..... 62

CAPÍTULO 4

Materiales acústicos



FIGURAS

1. Sonido que recibe el receptor..... 64
2. Nivel de presión sonora en el sitio del receptor..... 64
3. Absorción sonora en un muro de bloque de concreto con una capa de material absorbente..... 64
4. coeficiente de absorción para diferentes espesores de fibra de vidrio.. 66
5. Material absorbente situado a una distancia aproximadamente igual a $\frac{\lambda}{4}$ de la pared rígida..... 65
6. Medición de la absorción sonora mediante el tubo de impedancia..... 69
7. Relación aproximada entre coeficientes de absorción..... 70
8. Tubo de impedancia..... 70
- 9 y 10 Colocación de materiales para absorber el ruido..... 71

11. Plástico reforzado con fibra de vidrio.....	71
12 a 26 y 29 a 37. Resultados de las mediciones.....	73-81
27. Propuesta de muro absorbente.....	78
28. Diferentes texturas de revestimiento de fibra de vidrio.....	78
38. Ilustración esquemática de la atenuación de ruido aéreo.....	82
39. Variación de la pérdida de transmisión.....	82
TABLAS	
1-3 Coeficiente de absorción de algunos materiales.....	67-77
4. Frecuencia crítica de algunos materiales comunes en la construcción.....	83
5.Reducción en la pérdida de transmisión vs. porcentaje de abertura.....	84
6. Aislamiento sonoro de materiales.....	85
7. STC de algunos sistemas de división vertical.....	85
8. STC de muros divisorios de panel de yeso.....	86

CAPÍTULO 5



Caso de estudio

FIGURAS

1. Hospital de Zona/UMF No. 8. Salas de espera en planta alta.....	88
2. Vista de uno de los tres vanos en piso.....	88
3. Vista de uno de los tres vanos en muro.....	88
4. Sala donde se hará el acondicionamiento acústico.....	95
5. Representación esquemática de las superficies del recinto.....	95
6. Evaluación del nivel de voz con respecto a la distancia y el ruido.....	96
7. Contribución frecuencial al nivel de voz.....	97
8. Localización de los emisores y receptores en la sala de espera.....	97
9. Coeficiente medio de absorción como parámetro de un recinto.....	100
10. Tiempo de reverberación en función del volumen y el tipo de espacio	104
11. Tiempos de reverberación para aplicaciones de música y lenguaje...	104
12. Superficies a tratar acústicamente.....	106
13. Tiempo de reverberación del recinto antes y después del tratamiento	107

TABLAS

1. Valores de ruido medidos en el recinto.....	96
2. Nivel de voz requerido.....	97
3. Nivel sonoro de diferentes tonos de voz.....	98
4. Tiempo de reverberación del recinto antes del tratamiento acústico....	99
5. Nivel de potencia de la voz normal y voz sin esforzarse.....	100
6. Nivel de presión sonora de la voz normal de un conjunto de personas.	101
7. Contribución a la inteligibilidad de la palabra.....	102
8. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.....	103
9. Tiempos de reverberación recomendados.....	103
10. Tiempos de reverberación recomendados.....	104
11.Coeficientes de absorción del elemento absorbente.....	105
12. Tiempo de reverberación del recinto después del tratamiento acústico.....	107
13. Reducción del nivel de presión sonora.....	108
14. NPS en el recinto, dB (A).....	108
15. Nivel de voz requerido.....	109
16. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad.....	109

absorción: en acústica, es el cambio de energía sonora en calor.

analizador de señales: es un instrumento de medición capaz de descomponer un ruido en diversas bandas de frecuencias.

ANSI: American National Standard Institute.

acústica: del griego *akoustikós* que significa oír, es la ciencia del sonido. También se puede referir al efecto que un ambiente dado tiene sobre el sonido.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

certificación: proceso por el cual, una organización con autoridad para ello, garantiza que un proveedor de servicios de salud cumple de manera satisfactoria, una serie de *requisitos* para generar los mejores resultados para el paciente.

células pilosas: son células localizadas en el oído interno que transmiten las señales sonoras al nervio auditivo y éste al cerebro, dando así lugar a la percepción del sonido.

coeficiente de absorción: es la fracción de energía sonora que es absorbida por cualquier superficie, tiene un valor entre 0 y 1 y varía con la frecuencia y ángulo de incidencia del sonido.

confort acústico: estado de bienestar físico y mental de los usuarios al realizar una actividad determinada en un lugar específico.

decibel (dB): unidad de medida física de sonidos.

diapasón: barra metálica en forma de u, que al hacerlo vibrar produce un tono determinado.

espectro: el espectro de un sonido es la gráfica que relaciona la amplitud o presión sonora en el eje de las ordenadas, en función de todas las componentes frecuenciales graficadas en el eje de las abscisas.

frecuencia: el número de veces por segundo que las fluctuaciones de la presión sonora oscilan entre valores positivos y negativos.

hipoacusia: es la pérdida o disminución de la agudeza auditiva.

INCH: Instituto Nacional de la Comunicación Humana.

intensidad sonora: el flujo de energía sonora por unidad de superficie y por unidad de tiempo.

longitud de onda: es la *distancia* que viaja la onda sonora de un tono puro durante un periodo completo.

potencia sonora: es la energía sonora por unidad de tiempo que produce una fuente.

pérdida auditiva: la pérdida de sensibilidad del sistema auditivo, medida en decibeles abajo de un nivel estándar.

presión sonora: es la fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie

periodo: es el *tiempo* que se requiere para un ciclo completo de una onda sinusoidal.

recinto: en la acústica física se suele llamar recinto a cualquier espacio arquitectónico.

reverberación: es el tiempo (en segundos) que transcurre desde que la fuente sonora se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora disminuye 60 dB con respecto a su valor inicial.

ruido: desde el punto de vista psicológico se define como un sonido que es indeseado por el receptor porque éste es desagradable, molesta, interfiere con actividades importantes o porque se cree que es dañino fisiológicamente.

Sabine: es la unidad de la absorción sonora.

sonido: es la sensación producida en el órgano del oído, generada por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso.

sonido directo: es aquel que en su camino no encuentra ningún obstáculo y llega directamente desde la fuente al receptor.

sonido reflejado: es el que se origina como consecuencia de las reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies del recinto y objetos.

sonoridad: es la sensación de intensidad de un sonido.

umbral de audición: es una referencia de la presión acústica mínima que el oído puede detectar

umbral de dolor: es una referencia de la presión acústica máxima que el oído puede soportar.

Bibliográfica

1. AGUIRRE Gas, Héctor G., *Calidad de la atención médica*, Noriega, México, 2002.
2. APFEL E., Robert, *Deaf architects & blind acousticians*, Apple Enterprises Press, USA, 1998.
3. AVILA Reyes, Rafael, et. al., *Planeación, diseño y construcción de hospitales*, claves latinoamericanas, México, 1993.
4. BEHAR, Alberto, *El ruido y su control*, Trillas, México, 1994.
5. BELL Lewis, H. y Douglas H. Bell, *Industrial noise control: fundamentals and applications*, Marcel Dekker, USA, 1994.
6. BERANEK, L. L. e István L. Vér, (editores), *Noise and vibration control engineering: principles and applications*, John Wiley & Sons, USA, 1992.
7. BEYER, R., *Sounds of our times*, USA, 1999.
8. BIES, D. A. y C. H. Hansen, *Engineering noise control: theory and practice*, Allen & Unwin, Great Britain, 1988.
9. BRÜEL & KJAER, (editor) *Noise control: principles and practice*, 2a. ed., Dinamarca, 1984.
10. BUGLIARELLO, George, et. al., *The impact of noise pollution: a socio-technological introduction*, William Clowes & sons, 2a. ed., Great Britain, 1978.
11. BURNS, William, *Noise and man*, William Clowes & sons, 2a. ed. Great Britain, 1973.
12. CARRIÓN Isbert, Antoni, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Alfaomega, México, 2001.
13. Catálogos de arquitectura mexicana, *Agustín Hernández*, G. Gili, España, 1995.
14. CAVANAUGH, W. J. y Joseph A. Wilkes, (editores), *Architectural acoustics*, John Wiley & Sons, USA, 1999.
15. CLIMENT, Stephen A., *Building type basics for healthcare facilities*, John Wiley & sons, USA, 2000.
16. COWAN James, P., *Architectural acoustics*, McGraw-Hill, New York, 1999.
17. COWAN James, P., *Handbook of acoustics*, VNR, USA, 1994.
18. CROCKER, M. J. (editor), *Encyclopedia of acoustics*, John Wiley & sons, USA, 1997
19. CROCKER, M. J. y F. M. Kessler, *Noise and noise control*, Vol. I y II, CRC Press, USA, 1982.
20. DEASY, C.M., y Thomas E. Lasswell, *Designing places for people*, Whitney library of design, USA, 1985.
21. DE LA COLINA Tejada, Carlos y Antonio Moreno Arranz, *Acústica de la edificación*, 2a. ed., Fundación Escuela de la Educación a Distancia, España, 2000.
22. EVANS Gary, W., (editor), *Environmental stress*, Cambridge University Press, USA, 1982.
23. EVEREST F., Alton, *The master handbook of acoustics*, 2a. ed., TAB Books, USA, 1989.
24. GARCÍA, Armando, (editor) *Environmental Urban Noise*, Wit Press, Great Britain, 2001.
25. HARRIS, C. M., *Control in buildings, a practical guide for architects and engineers*, Poughkeepsie, New York, 1997.
26. HOSKING, Sarah y Liz Haggard, *Healing the hospital environment*, E & FN Spon, USA, 1999.
27. Instituto Mexicano de Seguridad Social, *Visión del cambio en la seguridad social 1988-1994*, México, 1994.
28. HOUGAARD Søren, et. al., *Sound and Hearing*, 2a. ed., WIDEX Employees, Dinamarca, 1995
29. HOWARD M., David, y James Angus, *Acoustics and Psychoacoustics*, Focal Press, 2a. ed., Great Britain, 2001.
30. IRWIN, J. D., y E.R. Graf, *Industrial noise and vibration control*, Prentice-Hall, USA, 1979.
31. JONES, Dylan M y Antony J. Chapman, *Noise and society*, John Willey & sons, Great Britain, 1984.
32. JOSSE, Robert., *La acústica en la construcción*, G. Gili, España, 1985.
33. KINSLER Lawrence, E., *Fundamentos de acústica*, Noriega, México, 1991.
34. KNUDSEN, V. O., y Cyril M. Harris, *Acoustical designing in architecture*, 5a. ed., Acoustical Society of America, USA, 1988.
35. KOBUS, Richard L., et. al., *Building type basics for healthcare facilities*, John Wiley & sons, USA, 2000.

36. LANGAGNE Ortega, Eduardo, *Clínicas y hospitales*, México, 2002.
37. LANGAGNE Ortega, Eduardo, *Génesis de los edificios de salud*, SMAES, México, 2003.
38. LÉVY-Leboyer, C., *Psicología y medio ambiente*, Morata, Madrid, 1985.
39. LLINARES Galiana, J., et. al., *Acústica arquitectónica y urbanística*, Universidad Politécnica de Valencia, España, 1996.
40. MALKIN, Jain, *Hospital interior architecture*, John Wiley & sons, China, 1992.
41. MARBERRY O., Sara, (editora), *Healthcare design*, John Wiley & Sons, USA, 1997.
42. MARBERRY O., Sara, (editora), *Innovations in healthcare design*, Van Nostrand Reinhold, USA, 1995.
43. MÁRQUEZ, Andrés y Juan F. Sánchez, *Acústica arquitectónica básica*, Instituto oficial de radio y T.V., Madrid, 1987.
44. MÁRQUEZ Sámano, Agustín, *Evaluación comparativa de los servicios médicos que proporcionan las tres principales instituciones de Seguridad Social en el D.F.*, Seminario de Investigación Administrativa, UNAM, 1974.
45. OCHOA Pérez, Juan M. y Fernando Bolaños, *Medida y control del ruido*, Marcombo, España, 1990.
46. PIERCE, Allan O., *Acoustics: an introduction to its physical principles and applications*, McGraww-Hill, USA, 1981.
47. PLAZOLA Cisneros, Alfredo, *Enciclopedia de arquitectura Plazola*, Vol. 6. Plazola editores, México, 1997.
48. PROSHANSKY, Harold M., et. al., *Psicología ambiental*, Trillas, México, 1978.
49. RAMIS Soriano, Jaime, et.al., *Curso experimental de acústica de salas*, Universidad Politécnica de Valencia, España, 1998.
50. RECUERO M., *Acústica arquitectónica aplicada*, Paraninfo, España, 1999.
51. RECUERO M., *Ingeniería acústica*, Paraninfo, España, 1994.
52. REIZENSTEN Charpman, J., et. al., *Design that cares*, American Hospital Publishing, USA, 1986
53. RODRÍGUEZ Marín, Jesús y Rosario Zurriaga Llorens, *Estrés, enfermedad y hospitalización*, Serie monografías, No. 17, Escuela Andaluza de salud pública, España, 1997.
54. RODRÍGUEZ Viqueira, Manuel, et. al., *Introducción a la arquitectura bioclimática*, Limusa, México, 2001.
55. ROUGERON, Claude, *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*, Editores técnicos y asociados, España, 1977.
56. RUCK C., Nancy, *Building design and human performance*, Van Nostrand Reinhold, USA, 1989.
57. SOBERÓN Solís, Fernando y F. Alejandro Villagómez, (compiladores), *La seguridad social en México*, CIDE, México, 1999.
58. SOTOMAYOR Gallardo, Alejandro, *Calidad, elemento esencial de la seguridad social*, CISS, serie estudios Seguridad Social, México, 2000.
59. STONER, David L., et. al., *La seguridad en hospitales*, Limusa, México, 1987.
60. YÁNEZ, Enrique, *Hospitales de seguridad social*, México, 1986.

Artículos

1. AGUILERA G, Manuel, El hospital del futuro, III Congreso internacional, Soc. Mex. de arquitectos especializados en salud, 1996.
2. AKIKAZU Kato y Hisashi Komatsu, *Application of environmental evaluation by hospital users in health care facility management*, Environmental Design Research Association, 1992; 23: 152-157.
3. BOULLOSA R., R. and S.J. Pérez Ruiz, *An exploratory study of community noise levels in México city*, Applied Acoustics, 1987; 22: 271-280.
4. GAPPELL, Millicent, *Psychoneuroimmunology*, Fourth Symposium on Healthcare Design, Boston, 1991.
5. GARCÍA Pedroza, Felipe, *Los trastornos auditivos como problema de salud pública en México*, An ORL Méx., 2003; 48 (1): 20-29.

6. GÓMEZ Ortiz, Rosario, *Dan certificación de hospitales al Adolfo López Mateos*, Nosotros, órgano informativo del ISSTE, No.37, octubre-2000.
7. GÓMEZ Ortiz, Rosario, *De un hospital a 1700 instalaciones en 40 años*, Nosotros, órgano informativo del ISSTE, No.27, octubre-1999.
8. DONABEDIAN, Avedis, *La dimensión internacional de la evaluación y garantía de la calidad*. Salud pública de México, 1990; 32 (2): 113-117.
9. FIELDS, J.M., et. al., *Standardized general purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation*, Journal of Sound and Vibration, 2001; 242(4): 641-679.
10. FRICKE F., *Sound Attenuation in Forest*, J. Sound Vib. 92, 149-158, 1984.
11. HERNÁNDEZ Leyva, Blanca, et. al., *Satisfacción de usuarios en unidades de medicina familiar*. Revista Médica del IMSS, 2002; 40 (5): 373-378.
12. MEZA Ruiz, Graciela, *Una prisión invisible nos rodea*, Gaceta territorio ambiental PAOT, 2004; 4 (2).
13. MONTES DE OCA Fernández, Eduardo y María del Consuelo Martínez Wbaldo, *Estimación del problema auditivo en México*, An ORL Méx.,1999; 44 (1): 8-12.
14. NEERGAARD, Charles F., *Are acoustical materials a menace in the hospital?*, J. Acoust. Soc. Am, 1930.
15. NEERGAARD, Charles F., *What can the hospital do about noise?*, J. Acoust. Soc. Am., 1942.
16. NOGUÉZ Trejo, Lucía y María del Consuelo Martínez Wbaldo, *Percepción auditiva vs audiometría tonal en adultos sin valoración previa*, An ORL Méx.,2002; 47 (2): 29-32.
17. OROZCO Medina, Marta, *Los niveles de ruido en Guadalajara*, Revista de vinculación y ciencia, No. 7, 2001.
18. ORTIZ Flores, Guillermo, *Evolución histórica conceptual de los hospitales de México en el presente siglo*, El hospital del futuro, III Congreso internacional, Soc. Mex. de arquitectos especializados en salud, 1996.
19. POBLANO, Adrián, et. al., *Niveles de contaminación por ruido en una de las principales avenidas de la ciudad de México*, An ORL Méx., 1995; 40 (2): 63-66.
20. PRICE M. A., K. Attenborough, and N.W. Heap, *Sound attenuation through trees: Measurements and Models*, J. Acoust. Soc. Am. 84, 1836-1844, 1988.
21. RODRÍGUEZ Díaz, J. A., et. al., *Frecuencia de defectos auditivos en 16 estados de México*, An ORL Méx., 2001; 46 (3).
22. RODRÍGUEZ Manzano, Fausto, *Confort acústico: un problema arquitectónico*, 5º. Congreso mexicano de acústica, Querétaro, México, 1998.
23. ROSS, Anna Gabriela, et. al., *La calidad y la reforma del sector de la salud en América Latina y el Caribe*, Revista Panamericana de Salud Publica, 2000; 8(1/2).
24. RUELAS Barajas, Enrique, *Unidad de garantía de calidad. Estrategia para asegurar niveles óptimos en la calidad de la atención médica*, Salud pública de México, 1990; 32 (2): 225-231.
25. RUIZ de Chévez, Manuel, *Bases para la evaluación de la calidad de la atención en las unidades médicas del sector salud*, Salud pública de México, 1990; 32 (2): 156-169.
26. SOLIS Chavés, Armando E., et. al., *Detección de niveles de ruido y trauma acústico en una planta rehidratadora de leche*, An ORL Méx, 1999; 44 (1): 17-20.
27. WEN-HWA, Chens, et. al., *On the acoustic absorption of porous materials with different surface shapes and perforated plates*, Journal of Sound and Vibration, 2000; 237 (2): 337-355.

Normas

1. Normas de proyecto de arquitectura, IMSS, Tomo I: Funcionamiento de unidades médicas, Tomo II: Consulta Externa, hospitalización, medicina física y rehabilitación, Tomo VII: Bioclima, 1993.
2. Norma Mexicana NMX-AA-040-1976, clasificación de ruidos, Secretaría de Comercio, 8 de noviembre de 1976.
Norma Mexicana NMX-C-102-1976, medición en campo, del nivel de presión acústica, o del nivel sonoro, en el ambiente de un claustro, Secretaría de Comercio, 17 de agosto de 1976.
3. Norma Mexicana NMX-C-207-1977, criterios de ruido según la función de los claustros, Secretaría de Comercio, 24 de octubre de 1977.
4. Norma Mexicana NMX-C-211-1977, tiempos óptimos de reverberación según la función de los claustros, Secretaría de Comercio, 14 de diciembre de 1977.
5. Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 17 de abril de 2002, México.
6. Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición, Secretaría de Desarrollo Social, 13 de enero de 1995, México.
7. Norma Oficial Mexicana NOM-178-SSA1-1998, que establece los Requisitos Mínimos de Infraestructura y Equipamiento de Establecimientos para la Atención Médica de Pacientes Ambulatorios, Secretaría de Salud, 14 de septiembre de 1999, México. Disponible en: <http://www.codamedver.gob.mx/NOM-178-SSA1-1998.htm>
8. Norma Oficial Mexicana NOM-197-SSA1-1998, que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada, Secretaría de Salud 24 de octubre de 2001, México.
9. Normas Técnicas Complementarias para el proyecto arquitectónico, Gaceta oficial del Distrito Federal, 6 de octubre de 2004, Tomo II, No. 103-BIS.
10. Norwegian standard, NS 8175, Sound conditions in buildings, Sound classes for various types of buildings, 1997.
11. Swedish standards institution, Swedish Standard SS 02 52 68, Acoustics-Sound classification of spaces in buildings, 2000.

Internet

1. *The white book sector guide series* de la empresa de consultoría británica HealthSpect, disponible en: www.british-gypsum.bpb.com
2. Meyer Sound, Parámetros para medir la inteligibilidad de la palabra, disponible en: <http://www.meyersound.com/support/papers/speech/section4.htm#alcons>
3. Universidad Autónoma de México, Boletín No. 084, *Presentan problemas de infraestructura 20 mil inmuebles del sistema hospitalario del país*, 9 de abril de 2003. Disponible en: <http://www.uam.mx/comunicacionuniversitaria/boletines/anteriores/abril9-03-1.html>
4. *Guidelines for Community Noise*, World Health Organisation, 1999. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/ruido/ruido2.pdf>
5. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, *Noise - Auditory Effects*. Disponible en: http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_auditory.html
6. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con Acústica. Disponible en: <http://informatica.issste.gob.mx/website/comunicados/nosotros/octubre2000/dancertificacion.html>
7. Libro Verde de la Comisión Europea. Bruselas, 1996.
<http://www.ruidos.org/Documentos/ruidolibroverde.html>