



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN LOS ALREDEDORES
DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

HERNÁNDEZ CORONA ALAN

DIRECTOR DE TESIS

M. I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE



CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F., MAYO 2014



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/31/2014

Señor
ALAN HERNANDEZ CORONA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"ESTUDIO DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN LOS ALREDEDORES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO"

INTRODUCCIÓN

- I. TEORÍA ACÚSTICA**
- II. NORMATIVIDAD**
- III. ÁREA DE ESTUDIO**
- IV. METODOLOGÍA**
- V. RESULTADOS Y ANÁLISIS**
- VI. PROPUESTA DE BARRERA ACÚSTICA**
- VII. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 24 de Marzo de 2014
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
JLTS/MTH

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme la puertas desde el bachillerato y permitirme estudiar en una de las mejores universidades a nivel mundial.

A la Facultad de Ingeniería, por abrirme las puertas y permitirme estudiar una carrera universitaria con la mejor calidad educativa que existe en el país.

A mis padres, tíos y hermano, con todo cariño por aconsejarme, motivarme y apoyarme en todo momento, ya que sin ellos no hubiera sido posible haber logrado el sueño de tener una carrera universitaria.

Al M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose, por apoyarme y aconsejarme durante la elaboración de esta tesis; así como por sus enseñanzas y consejos como profesor de la Facultad.

Al laboratorio de Sanitaria y Ambiental y toda su comunidad, especialmente a la Biol. Natasha Carime Villaseñor Hernández, por haberme brindado apoyo con el material para realizar las mediciones de campo y en la forma de utilización de mismo.

A todos mis amigos, por apoyarme, aconsejarme y motivarme en la elaboración de esta tesis; así como durante mi estancia en la carrera.

A mis Sinodales, por apoyarme con sus observaciones y consejos que me dieron durante la realización de esta tesis, ya que de esta forma se obtuvo un trabajo de calidad.

A todos los Maestros de la Facultad de Ingeniería por sus enseñanzas y experiencias compartidas, las cuales ayudaron durante mi formación personal y profesional.

Gracias.

ÍNDICE

Introducción	6
1. Teoría acústica.....	9
1.1 Sonido.....	10
1.2 Presión acústica.....	14
1.3 Potencia sonora e intensidad sonora.....	15
1.4 Niveles y decibelios	16
1.5 Ruido	20
1.6 Instrumentos de medición de ruido.....	25
1.7 El oído.....	30
1.8 Efectos del ruido.....	33
2. Normatividad.....	38
2.1 Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido.....	38
2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA)	40
2.3 NOM-081-SEMARNAT-1994.....	41
2.4 NOM-036-SCT3-2000	43
2.5 NADF-005-AMBT-2006	44
2.6 Organización Mundial de la Salud (OMS).....	45
2.7 Criterios para la selección de las normas aplicables	47
3. Área de estudio	48
3.1 Descripción del lugar	48
3.2 Ubicación y localización	50
4. Metodología	53
4.1 Metodología para la obtención de los niveles de presión acústica	53
4.2 Instrumento de medición.....	54
4.3 Puntos de medición.....	55
4.4 Tiempos de medición	55
4.5 Niveles de presión acústica	56
4.6 Mapas de ruido	57
4.7 Trabajo de campo.....	58

5. Resultados y análisis.....	72
5.1 Mapas de ruido	72
5.2 Comparación con las normas vigentes.....	81
6. Propuesta de barrera acústica	85
7. Conclusiones.....	87
Bibliografía	89
Anexos.....	91

INTRODUCCIÓN

Se realizó un estudio de niveles de presión acústica en los alrededores del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), con el fin de determinar los niveles de ruido que se tienen en el lugar y si estos cumplen con las normatividad vigente en el D.F., en el país y con lo establecido con la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Para lograr esto se utilizó el método establecido en la NOM-081-SEMARNAT-1994, el cual es aplicable en fuentes fijas de ruido. Se consideró el estudio de una fuente fija, ya que se estudiaron los niveles de ruido que se generan por diversas fuentes (aviones del AICM, vehículos que circulan por las vialidades cercanas, música en viviendas, etc.).

Para realizar dicho estudio se distribuyeron varios puntos en los alrededores del AICM procurando siempre que estos estuvieran cercanos a las viviendas, con el fin de determinar de forma más precisa cuáles eran los niveles que llegan directamente a cada una de éstas.

Por último, se propone una barrera para reducir los niveles de ruido en la zona crítica 5 de estudio, pues es la zona con los más altos niveles de ruido y en la cual es posible reducir mediante un elemento constructivo dichos niveles.

En capítulo 1 se explica las definiciones básicas de la teoría acústica (sonido, ruido, niveles, instrumentos de medición, etc.). Además, se habla acerca de cómo está compuesto y funciona nuestro oído; así como las consecuencias que pueden existir al exponerlo durante lapsos largos al ruido.

El capítulo 2 menciona la normatividad que puede ser aplicable en el D.F., que es donde se encuentra ubicado el AICM. También, se muestran los criterios de selección para la aplicación de cada una de éstas, ya que de algunas no es necesaria su aplicación.

En el capítulo 3 se menciona las características generales del AICM; así como las vialidades y colonias que existen alrededor de éste. Esto con el fin de poder determinar posteriormente las zonas de estudio y obtener resultados más precisos durante el estudio de campo y el análisis de resultados.

En el capítulo 4 se habla acerca de metodología a utilizar para la realización del estudio tanto en campo como en el análisis de los resultados. Además, se habla de los criterios que se utilizaron para ubicar los puntos de medición, los horarios de medición, determinar las zonas críticas, etc.

En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos durante las mediciones en campo y se hace el análisis de éstos. También, se hizo la comparación de cada uno de estos resultados con los niveles permisibles que indican las normas aplicables. Esto con el fin de saber cuáles eran las zonas más afectadas por los niveles de presión acústica del lugar.

Por último, en el capítulo 6 se hace la propuesta de una barrera acústica bajo la teoría de aislamiento acústico de barreras simples. Para esto se propone una barrera de un material denso uniforme con el fin de poder obtener su aislamiento aplicando las ecuaciones que presentan algunas bibliografías, las cuales se han obtenido mediante ensayos en diferentes materiales.

Objetivos

General

Realizar un estudio de los niveles de presión acústica en los alrededores del AICM por medio de la normatividad aplicable en el D.F. Asimismo, obtener los mapas de ruido del lugar y compararlos con los niveles permisibles que establecen las normas vigentes.

Específicos

- Conocer los efectos que puede generar el ruido a las personas que viven a los alrededores del AICM.
- Determinar los horarios donde se tenga la mayor emisión de ruido.
- Determinar las zonas críticas donde se realizaran las mediciones.
- De acuerdo a las características y alcances de cada zona crítica, determinar los puntos de medición en cada una de estas.
- Para cada punto obtener los niveles N_{10} , N_{50} , N_{eq} , N_{max} y N_{min} .
- Con la información obtenida durante el estudio, generar los mapas de ruido en los alrededores del AICM.
- Hacer un análisis de los mapas de ruidos obtenidos.
- Hacer una comparación de los niveles acústicos obtenidos con los niveles permisibles que establecen por las normas vigentes.
- Proponer alguna solución a la zona más afectada por los niveles de ruido generados.

Alcances

- Se considera para la elaboración del estudio de niveles de presión acústica lo establecido por la NOM-081-SEMARNAT-1994.
- Se considera al AICM y las fuentes de sus alrededores como un conjunto. Por lo tanto, se considera a este conjunto como una fuente fija.
- Los límites permisibles que establecen normas a considerar serán los que indiquen las siguientes normas: NOM-081-SEMARNAT-1994 y NADF-005-AMBT-2006; así como los valores permisibles establecidos por la OMS.

1. TEORÍA ACÚSTICA

Hablar de ruido no es algo nuevo en la historia del hombre, pues se tienen antiguos documentos donde se menciona que los romanos, por ejemplo, prohibían que los carros pesados pasaran sobre los pavimentos de piedra en la ciudad imperial durante las noches, con el fin de no interrumpir el descanso de los habitantes de ésta.

En el siglo antepasado como resultado de la revolución industrial se elevó el nivel de ruido y la frecuencia con el que éste aparece, lo cual tiene como consecuencia que se incremente el número de personas que pierden la sensibilidad auditiva.

Durante los años treinta el avance de la electrónica permitió el desarrollo de dos instrumentos muy importantes para el estudio del ruido y sus efectos. Estos instrumentos son el sonómetro y el audiómetro, los cuales hacen posible la medición de los niveles acústicos y del umbral de audición con una gran precisión. Con éstos los científicos pueden realizar estudios serios y confiables.

Por otro lado en la segunda guerra mundial un gran número de personas perdieron la audición por haberse expuesto a niveles acústicos altos, principalmente el que se originaba por las explosiones de bombas, proyectiles, tanques, etc. Esto llevó a los científicos a comenzar a pensar seriamente sobre el tema de la audición.

Es por ello que se comenzó la fabricación de los primeros protectores auditivos diseñados científicamente, con lo cual la ciencia pasa de un campo académico al mundo de la industria. Cabe señalar que gracias a las nuevas tecnologías y avances científicos se han logrado mejorar los protectores auditivos y su eficiencia.

Hoy en día con los estudios científicos avanzados y los aparatos electrónicos sofisticados se han hecho normas y leyes donde se establece valores máximos para los niveles acústicos con el fin de no afectar a la población cercana a industrias, carreteras y/o aeropuertos.

Resulta importante que hoy en día en las industrias, donde las personas trabajan por largos periodos en contacto con el ruido, se establezcan protocolos de seguridad. Estos consisten en explicar a los trabajadores las consecuencias de no usar el equipo de seguridad y las medidas que se deben tomar al trabajar en este tipo de ambientes.

1.1 Sonido

Se puede definir al sonido como una forma de energía mecánica con movimiento ondulatorio que viaja a través de un medio elástico que puede ser gaseoso, líquido o sólido. El sonido se origina a través de un foco o fuente, donde se producen ondas sonoras debido a las variaciones de presión que están por encima y por de debajo del valor estático de la presión atmosférica.

La velocidad con la que se propaga el sonido depende del medio por el cual viaje, se puede apreciar que la velocidad en los líquidos y sólidos es mucho mayor que en los gases, es decir, la velocidad del sonido dependerá intrínsecamente de las propiedades físicas del medio por el que viaje. En la tabla 1.1 se puede observar la variación de la velocidad para diferentes medios.

Tabla 1.1 Velocidad del sonido en diferentes medios

Material	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m ²
Aire, seco, sin CO ₂	331.8	1.29
Oxígeno	317	1.43
Hidrógeno	1269	0.0897
Helio	972	0.1785
Agua	1461	1000
Madera	3048-4572	480-800
Cobre	3557	8890
Hierro	4190	7894

La velocidad del sonido en el aire, puede obtenerse mediante la ecuación (1.1):

$$c = 331 + 0.6T_c \quad (1.1)$$

Donde T_c es la temperatura en grados Celsius y c esta en m/s.

Tipos de Sonidos

El sonido puro o tono puro es el que sólo posee una sola frecuencia. Estos tipos de sonidos no existen en la naturaleza, solamente pueden ser creados de manera artificial, principalmente para realizar medidas acústicas.

Sonido compuesto. El sonido compuesto contiene varios sonidos puros de diferentes frecuencias. Es importante señalar que si las frecuencias son vecinas, el sonido se asemejará a un tono puro.

Propiedades del sonido

La propagación

La propagación se origina de una onda y puede desplazarse ya sea en dirección de la onda, a lo cual se llama propagación longitudinal o perpendicularmente a la onda, a lo cual se conoce como propagación transversal. La propagación longitudinal es propia de los gases y líquidos, mientras que en los sólidos se encuentran ambas propagaciones. En la figura 1.1 se puede observar de manera esquemática como es el movimiento de propagación longitudinal y transversal.

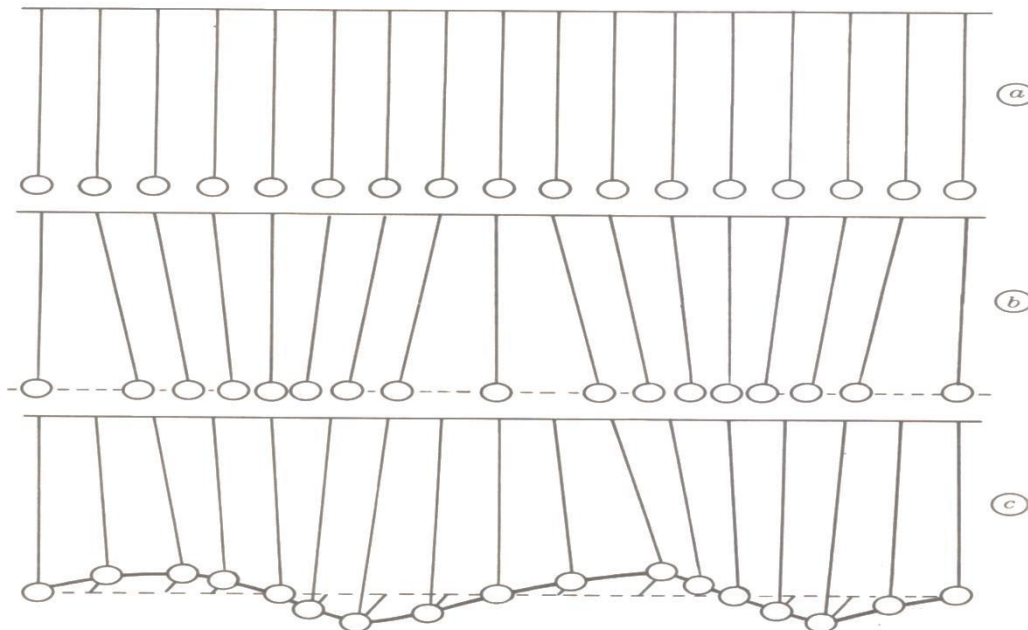


Figura 1.1 Propagación de ondas. a) Péndulos en reposo b) Propagación longitudinal
c) Propagación transversal (Meisser, 1973)

Ondas planas y esféricas

Cuando las ondas sonoras tienen una misma dirección de propagación en todos sus puntos, se les conocen como ondas planas, porque los puntos de compresión o depresión máxima forman superficies planas perpendiculares a la dirección de propagación. Por otro lado se le llaman ondas esféricas a las que resultan de la formación de esferas concéntricas de los puntos de máxima compresión.

Frecuencia

Se puede definir a la frecuencia como el número de veces que se repite un fenómeno así mismo en un segundo, en otras palabras, es el número de veces que pasa una partícula por segundo en la misma posición y desplazándose en el mismo sentido. Su unidad de medida es el Hercio (Hz). *Un ejemplo puede ser los dientes (púas) del diapasón que realizan 440 oscilaciones completas en un segundo. Por tanto, su frecuencia de vibración es 440 Hz.*¹

La frecuencia del sonido varía de acuerdo al rango acústico en el que se encuentren las ondas sonoras. La clasificación generalmente admitida del rango audible es la siguiente (ver fig. 1.2):

Infrasonidos.- Son los sonidos con frecuencias menores a 20 Hz y no son percibidos por el oído humano, aunque es posible percibir las vibraciones en tejidos blandos del cuerpo.

Espectro audible.- Estos sonidos son los que se encuentra en una frecuencia comprendida entre 20 Hz y 15000 Hz. La máxima frecuencia que pueda percibirse por el oído humano dependerá de la edad y la salud, entre otros factores. Una persona de más de 60 años sólo percibe frecuencias hasta unos 10 o 12 kHz mientras que un niño puede percibir frecuencias de hasta 20 KHz.

Ultrasonido.- Estos sonidos tienen frecuencias mayores a 15 KHz y es comúnmente percibido por algunos animales como los perros. No existe algún límite superior de frecuencia, es por ello que se designa ultrasonido.



Figura 1.2 Espectro audible

Frecuencias y anchos de banda normalizados

Las mediciones acústicas se hacen con el fin de determinar frecuencias, de acuerdo a las normas correspondientes. Estas frecuencias se establecen con base en las frecuencias de 1000 Hz. Las tres series de frecuencias establecidas son: las denominadas octavas (1/1), medias octavas (1/2) y tercios de octava (1/3). Todas se obtienen de la frecuencia base mediante las relaciones que se muestran en

¹ (Harris, 1995)

la tabla 1.2, donde f_1 y f_2 son frecuencias consecutivas. Cabe mencionar que las medias octavas actualmente no son muy usadas.

Tabla 1.2 Series de frecuencias establecidas

Denominación	f_2 / f_1
Octava	2
1/2 octava	$\sqrt{2} = 1.41$
1/3 octava	$\sqrt[3]{2} = 1.25$

Longitud de onda

Se puede decir que es la distancia recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración, es decir, el distanciamiento de una partícula con respecto a su posición de reposo. Esta longitud puede determinarse con la siguiente ecuación (1.2):

$$\Lambda f = c \quad (1.2)$$

Donde:

Λ es la longitud de onda

f la frecuencia

c la velocidad del sonido

El periodo (T) del movimiento ondular en segundos se obtiene mediante la siguiente ecuación (1.3):

$$T = 1/f \quad (1.3)$$

Donde:

T es el periodo

f es la frecuencia

Amplitud de la onda

Antes de definir amplitud de onda es importante mencionar lo que es una onda sinusoidal. La onda sinusoidal es un trazo que puede ser representado matemáticamente por una función seno. Cabe señalar que el movimiento que describe este tipo de ondas es un movimiento armónico simple.

Se puede definir a la amplitud de la onda como la altura al punto máximo o la profundidad al seno medida desde la línea de presión cero. En la figura 1.3 se puede observar que la amplitud en otras palabras no es más que la distancia entre el máximo de la onda y un punto promedio a lo largo de ésta.

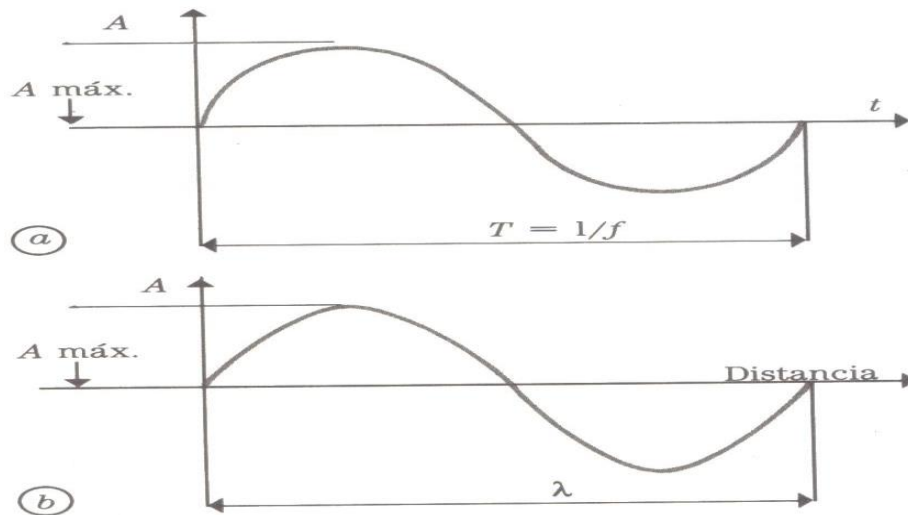


Figura 1.3 Oscilación senoidal a) Variación en función del tiempo b) Variación en función de la distancia. (Meisser, 1973)

Difracción del sonido

Este es un fenómeno de la propagación que ocurre cuando el sonido encuentra algún obstáculo en su camino. Cuando las ondas chocan contra una barrera, ésta no proyecta una sombra acústica aguda. En lugar de eso, las ondas sonoras se flexionan sobre la parte superior o lateral como se muestra en la figura 1.4.

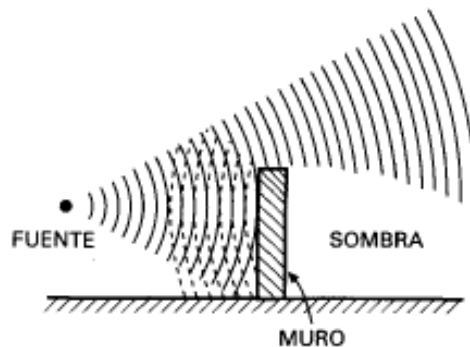


Figura 1.4 Ondas sonoras chocando con una barrera (Behar, 1994)

1.2 Presión acústica

Resulta muy conveniente saber diferenciar entre la presión estática, que es la que es debida por la presencia del aire que rodea al individuo, y la acústica, que es la que se produce por el sonido, la cual resulta ser la presión estática más la presión sonora que se produce por el paso de las ondas sonoras. Suele expresarse comúnmente en micro-pascales (μPa). La ecuación (1.4) matemática para calcularla queda expresada de la siguiente manera:

$$P(T)=P_A + p(t) \quad (1.4)$$

Donde:

$P(T)$ es la presión acústica

P_A es la presión atmosférica

$p(t)$ es la presión debida al sonido

1.3 Potencia sonora e intensidad sonora

La potencia acústica o sonora (W) puede definirse como la cantidad de energía en un tiempo determinado, que desprenden las ondas sonoras desde su fuente siguiendo la dirección de propagación.

La intensidad acústica o sonora (I) puede definirse como el valor medio de la potencia acústica que atraviesa la unidad de área normal a la dirección de propagación de onda sonora. Haciendo una relación entre la potencia y la intensidad sonora, se obtiene la siguiente ecuación (1.5):

$$I=W/A \quad (1.5)$$

Donde:

A es la unidad de área normal a la dirección de propagación de la onda

W es la potencia sonora

I es la intensidad sonora

Por otra parte la intensidad sonora, también se puede relacionar con la siguiente ecuación (1.6):

$$I = \frac{(P_{rms})^2}{\rho c} \quad (1.6)$$

Donde:

P_{rms} es el valor eficaz de presión acústica

ρ es la densidad del medio

c es la velocidad del sonido

1.4 Niveles y decibelios

Por definición se puede decir que “*el nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo*”². Para esto se debe indicar la base del logaritmo, la cantidad de referencia y el tipo de nivel.

La unidad que se le da a estos niveles son los llamados decibeles o decibelios (dB), dicho nombre se atribuye a Alexander Graham Bell.

El nivel es utilizado para facilitar el empleo de las mediciones, ya que al hacer usar una escala logarítmica se comprimen el rango de los valores. En la tabla 1.3 se puede observar un claro ejemplo de lo anteriormente dicho por medio de niveles de presión acústica. En dicha tabla se puede observar la escala de presión acústica que van de 0.00002 a 20 Pa, por lo cual es conveniente representarlas en niveles de presión acústica (dB).

Tabla 1.3 Niveles de presión acústica en diferentes fuentes sonoras.

Presiones en Pascal	Niveles de presión acústica en dB	Ejemplos
20	120	Taller de Calderería Banco de ensayo de motores Umbral del dolor
2	100	Taller textil Interior de un autobús Claxon de un automóvil
0.2	80	Calle con gran circulación Oficina con máquinas contables
0.02	60	Conversación común Receptor de radio en funcionamiento normal Oficina Calle con pequeña circulación
0.002	40	Receptor de radio con baja intensidad
0.0002	20	Campos tranquilo
0.00002	0	Umbral de audición de un hombre joven para frecuencias de 1000 a 4000 Hz

La notación logarítmica, es una consecuencia de la ley de Weber-Fecher, la cual dice que la sensación es proporcional al algoritmo de la excitación para las frecuencias medias.

² (Behar, 1994)

Nivel de presión acústica

El nivel de presión acústica, L_p , en decibelios, correspondiente a la presión sonora, se define por la siguiente ecuación (1.7):

$$L_p = 10 \log_{10} (p/p_0)^2 = 20 \log_{10} (p/p_0) \quad (1.7)$$

Donde:

L_p es el nivel de presión acústica en dB

P es la presión Sonora en pascales

P_0 es la presión de referencia en pascales, comúnmente 20 μ Pa

Nivel de intensidad acústica

El nivel de intensidad acústica, L_I , se define por la siguiente ecuación (1.8)

$$L_I = 10 \log_{10} (I/I_0) \quad (1.8)$$

Donde:

L_w es el nivel de presión acústica en dB

I es la potencia de la fuente de ruido en vatios

I_0 es la potencia de referencia en vatios, comúnmente 1 μ V

Nivel de potencia acústica

El nivel de potencia acústica, L_w , de una fuente en decibelios, se obtiene mediante la siguiente expresión (1.9):

$$L_w = 10 \log_{10} (W/W_0) \quad (1.9)$$

Donde:

L_w es el nivel de presión acústica en dB

W es la potencia de la fuente de ruido en vatios

W_0 es la potencia de referencia en vatios, comúnmente 1 μ V

Nivel acústico continuo equivalente

Se puede definir al nivel acústico continuo equivalente con ponderación de frecuencia para un intervalo de tiempo específico como el nivel de ruido que corresponde al promedio integral en el tiempo de la presión acústica al cuadrado con ponderación de la frecuencia producida por fuentes de sonidos estables, fluctuantes, intermitentes, irregulares o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo. Esto quiere decir que al medir en un punto el nivel acústico, éste se obtendrá de diversas fuentes que estén emitiendo ondas acústicas en ese momento, dichas ondas serán variables durante el tiempo de medición. Es por esto que el nivel equivalente simula un nivel que pudiera presentarse durante todo el tiempo de la medición.

Es importante señalar que el nivel continuo equivalente es el que se obtiene del sonómetro o del equipo con el cual se realicen las mediciones.

Habitualmente las ponderaciones de frecuencia utilizadas para la medición de niveles acústicos continuos equivalentes son las A, salvo a que se especifique de una manera muy estricta la utilización de otra ponderación de frecuencia.

El nivel acústico continuo equivalente es igual a 10 veces el logaritmo base 10 de la relación entre la presión sonora con ponderación A al cuadrado integrada en el tiempo T de referencia y la presión sonora de referencia estándar al cuadrado. De esta forma nivel acústico continuo equivalente (en dB(A)), se expresa con la siguiente ecuación (1.10):

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left\{ \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_{t_2}^{t_1} P_A^2(t) dt \right] / P_0^2 \right\} \quad (1.10)$$

Donde:

P_A^2 es la presión sonora instantánea con ponderación A en pascales.

T es el intervalo de tiempo que comienza en t_1 y termina en t_2 , ambos tiempos deben tener las mismas unidades, segundos.

P_0^2 es el cuadrado de la presión acústica normalizada de 20 μ Pa.

Nivel acústico equivalente de 1 hora

El nivel acústico equivalente de 1 hora, es un nivel acústico continuo equivalente para un tiempo de 1 hora. Este tiempo de medición puede empezarse y terminarse en cualquiera hora y día. Es preferible indicar la referencia del intervalo de tiempo mediante la hora de inicio y la hora final.

El nivel acústico de 1 hora es el promedio temporal del cuadrado de la presión sonora con ponderación A, medido en decibelios, de acuerdo a la siguiente ecuación (1.11):

$$L_{1h} = 10 \log_{10} \left\{ \left[\left(\frac{1}{3600} \right) \int_0^{3600} P_A^2(t) dt \right] / P_0^2 \right\} \quad (1.11)$$

Nivel acústico equivalente de 8 horas

El nivel acústico equivalente de 8 horas, es aquel que se mide en un intervalo de 8 horas, comúnmente en lugares de trabajo, pues la mayoría de estas jornadas son de 8 horas al día, sus unidades son los decibelios y se determina con la siguiente ecuación (1.12):

$$L_{8h} = 10 \log_{10} \left\{ \left[\left(\frac{1}{28800} \right) \int_0^{28800} P_A^2(t) dt \right] / P_0^2 \right\} \quad (1.12)$$

Si hay disponibles ocho niveles de 1 hora sucesivos que cumplan el intervalo completo, el nivel acústico de 8 horas puede calcularse a partir de la siguiente ecuación (1.13):

$$L_{8h} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{8} \right) \sum_{i=1}^8 10^{0.1 L_{ih}(i)} \right] \quad (1.13)$$

Donde $L_{ih}(t)$ es el nivel acústico continuo equivalente de 1 hora en una de las i horas.

Nivel acústico diurno

El nivel acústico diurno se mide en decibelios o decibels y se define como nivel acústico continuo equivalente medido para las primeras 15 horas diurnas del día, entre las 7:00 y las 22:00 horas. Este puede medirse directamente con intervalos de 12 horas o a partir de los niveles acústicos de 1 hora, mediante la siguiente ecuación (1.14):

$$L_d = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{15} \right) \sum_{i=800}^{2200} 10^{0.1 L_{ih}(i)} \right] \quad (1.14)$$

Nivel acústico vespertino

El nivel acústico vespertino es medido en decibelios y se define como el nivel acústico continuo equivalente medido para tres horas vespertinas, entre las 19:00 y 22:00 horas. Este nivel se determina por medio de niveles acústicos de 1 hora, de acuerdo a la ecuación (1.15):

$$L_{ev} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{3} \right) \sum_{i=2000}^{2200} 10^{0,1 L_{ih}(i)} \right] \quad (1.15)$$

Nivel acústico nocturno

El nivel acústico nocturno es medido en decibelios y se divide en 2 turnos, uno que está entre las 0:00 y 7:00 y el siguiente que es de las 22:00 a las 24:00 horas. Este nivel puede determinarse mediante la siguiente ecuación (1.16):

$$L_n = 10 \log_{10} \left\{ (1/9) \left[\sum_{i=0100}^{0700} 10^{0,1 L_{ih}(i)} + \sum_{i=2300}^{2400} 10^{0,1 L_{ih}(i)} \right] \right\} \quad (1.16)$$

1.5 Ruido

Se puede definir al ruido como una mezcla de sonidos de diferentes frecuencias que llegan a ser desagradables para el oído. El ruido es muy relativo, ya que para algunas personas puede resultar desagradable y para otras no. Por ejemplo, algunas personas disfrutan ver la televisión con un volumen alto, mientras que para otras esto resulta ser algo inaguantable. Por otro lado también hay ruidos que son muy desagradables para cualquier persona, como el sonido que emite una turbina al despegar un avión, incluso este sonido puede causar sordera si se percibe durante periodos prolongados.

Cómo se transmite el ruido

Para controlar el ruido debe tenerse un perfecto conocimiento sobre sus características. Es necesario estar al tanto de su composición armónica, de la duración y de su naturaleza. Otro dato muy importante que se debe conocer, es saber si el ruido proviene de una fuente externa o interna, ya que con ello se determinará un método de ataque al problema.

El ruido se trasmite a una persona por diferentes vías. Supongamos, por ejemplo, a una persona escuchando música en su casa con un volumen alto, parte del sonido puede transmitirse por el aire, pudiendo incluso salir por las ventanas hacia el exterior. Por otro lado el sonido irradiado por las

bocinas golpeará las paredes, forzándolas a una pequeña vibración. Además, una pequeña fracción de esta energía viajará por la estructura de la casa.

A continuación se muestra un diagrama (ver fig. 1.5), donde se puede observar de manera esquemática la transmisión del sonido desde una fuente a un oyente. Cabe señalar que el bloque descrito como fuente puede representar a una sola o varias. Como se mencionó anteriormente, las vías de transmisión pueden ser numerosas y el bloque denominado receptor puede representar a una sola persona, a un grupo o a una comunidad, cuyo funcionamiento se ve afectado por el ruido.

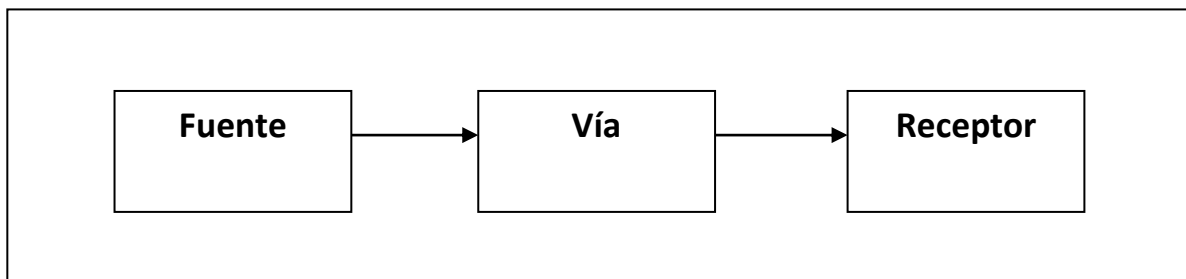


Figura 1.5 Diagrama esquemático de la transmisión del sonido

A continuación se muestran las principales fuentes de ruido en una ciudad:

Ruido de tránsito

El ruido ocasionado por el tránsito es el más típico de ruido exterior. Su importancia va creciendo cada día, ya que en los últimos años existe un incremento de vehículos con motores con mayor potencia. Es importante mencionar que al ruido de las motos, automotores y camiones, últimamente se suma el ruido de los aviones.

Los niveles de ruido de tránsito se encuentran en un rango de 100- 110 dB (A) para un avión de transporte volando bajo; 80- 90 dB (A) a unos 10 m de un tren de pasajeros y 85-95 dB (A) en una calle de tránsito intenso.

Otra cosa que influye para alcanzar ciertos niveles, son las características físicas de las calles y de los edificios que se encuentran en los alrededores. Es por ello que se trata de hacer diseños urbanísticos adecuados, poner orden de tránsito con la colocación de semáforos, asfaltar calzadas, etc.

Ruidos de oficina

Este tipo de ruidos pueden ser tanto externos como internos. En general puede generarse por la campanilla de un teléfono, el sonido de las computadoras, las conversaciones, los aparatos eléctricos, etc.

Una manera de combatir este tipo de ruidos, es por medio de revestimiento en techos y paredes con elementos absorbentes, como la lana de vidrio o lana mineral. También, otro método empleado es el de hacer separaciones totales, es decir, que abarquen desde el piso hasta el techo. Para esto se debe tener cuidado de que no existan orificios donde se puede transmitir la energía.

Ruidos de Fábrica

Este tipo de ruidos son muy variados en cuanto a su espectro, niveles y duración. Este tipo de ruidos pueden dividirse en ruidos continuos, discontinuos y de impacto.

Los ruidos continuos son aquellos cuya duración está casi durante toda la jornada de trabajo, como puede ser el caso de un operador de sistemas de bombeo que pasa la mayor parte del tiempo trabajando con las bombas encendidas.

El ruido discontinuo se asemeja a uno de impacto, la diferencia es que el primero es un sonido continuo interrumpido, como el de una máquina de coser que sólo funciona por rato. Mientras que los de impacto son muy breves, incluso puede llegar a durar segundos, por ejemplo, al dejar caer una pieza de metal sobre el suelo.

Los sonidos de impacto son difíciles de medir y aislar, además resultan ser muy peligrosos para el oído humano. Esto es porque el oído humano tiene un sistema de defensa propio el cual consiste en el endurecimiento del tímpano y la cadena de huesecillos, pero con los ruidos de impacto el oído, debido a la corta duración de estos no alcanza a protegerse.

Control de ruido

Como se mencionó el control de ruido resulta importante, pues con esto garantizamos un ambiente saludable para poder tener una mejor calidad en nuestra audición y también una mejor calidad de vida, dejando atrás todas aquellas consecuencias psicológicas que se derivan por el ruido.

A continuación se hablará de tres métodos de control de ruido que nos presenta Harris (Harris, 1995), los cuales son: control de ruido en la fuente, control de ruido en la vía de transmisión y el

uso de medidas protectoras contra el ruido en el receptor. Seleccionar el método a aplicar dependerá mucho de cuánto es lo que se requiere reducir y de las condiciones económicas y operativas.

Control de ruido en la fuente

Este puede ser un método importante, ya que se está reduciendo las fuerzas que generan el ruido desde su origen, lo cual puede hacerse mediante masas rotatorias o aislando los elementos vibratorios de la fuente.

Otro método que puede resultar efectivo es deteniendo totalmente la fuente que genera ruido, aunque esto no sea de manera permanente, detenerla por algunas horas durante el día podría ayudar. Por ejemplo, si una fábrica para sus máquinas durante periodos, esto hará que se reduzcan los niveles de ruidos durante el día.

Control de ruido en la vía de transmisión

Existen diversos métodos para lograr que el ruido se reduzca mediante el control de la vía de la transmisión, algunos de los que menciona Harris (Harris, 1995) son los siguientes:

Emplazamiento. Este método consiste en mantener la mayor distancia posible entre el receptor y la fuente, ya que esto reduce el ruido al llegar al receptor. También algunas fuentes no irradian igual en todas las direcciones, por lo cual al hacer un cambio de orientación se genera una reducción considerable. Es por ello que la orientación de las pistas de un aeropuerto deben ser consideradas de manera importante para reducir el ruido a las comunidades cercanas.

Métodos de edificación. El diseño de habitaciones con los materiales correctos, las dimensiones y las formas adecuadas. Lo anterior ayuda de manera importante para lograr aislar el ruido de una forma precisa y muy práctica, ya que se tiene una solución a este problema desde su construcción.

Barreras. El empleo de barreras resulta eficaz comúnmente cuando su tamaño es mayor al de la onda de longitud. Otra alternativa es colocar las barreras con cierto ángulo de inclinación con el fin de reflejar las frecuencias altas, lo cual resulta muy práctico cuando debemos construir barreras enormes.

Cerramientos. El usar cerramientos alrededor de la fuente o del receptor, reduce de manera considerable el ruido. Esto se debe a que el receptor se encuentra encerrado en una especie de capsula, donde la mayor parte de las ondas de ruido son reflejadas y desviadas a los alrededores.

Absorción. Es una de las formas más eficaces para reducir el ruido. Este método se logra por medio de la instalación de materiales acústicos sobre las paredes o techos del lugar donde se desea reducir los niveles de ruido.

Aislamiento acústico de barreras simples

El aislamiento acústico proporcionado por barreras simples constituidas por compuestos o materiales homogéneos es función casi exclusiva de su masa superficial, siendo aplicables las siguientes ecuaciones (1.17 y 1.18), que determinan el aislamiento R (dB (A)) de cerramientos ligeros o pesados, en función de la masa por unidad de superficie m (kg/m²).

$$m \leq 150 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad R = 16.6 \log (m) + 2 \quad (1.17)$$

$$m > 150 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad R = 36.5 \log (m) - 41.5 \quad (1.18)$$

Donde:

m es la densidad superficial del elemento, en kg

R es el índice de reducción acústica, en dB (A)

La densidad superficial se calcular de acuerdo a la siguiente ecuación (1.19):

$$m = e * \gamma \quad (1.19)$$

Donde:

e es el espesor del elemento, en m

γ es el peso específico del elemento, en kg/m³

Un factor importante para la elección de muros maestros, desde el punto de vista de aislamiento acústico, es la masa del muro por metro cuadrado³. Si éstos se hacen de material uniforme, entonces el aislamiento puede determinarse mediante las siguientes ecuaciones (1.20 y 1.21):

$$m \leq 200 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad R = 13.5 \log (m) + 13 \quad (1.20)$$

$$m > 200 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad R = 23 \log (m) - 9 \quad (1.21)$$

Donde:

³ (Manuel, Acústica Arquitectónica Aplicada, 1999)

m es la densidad superficial del elemento, en kg

R es el índice de reducción acústica, en dB

Estas ecuaciones facilitan los cálculos prácticos del aislamiento acústico, con bastante exactitud, aunque no son de tipo empírico.

Para que estas barreras acústicas sean eficaces deben ser de gran masa, totalmente rígida y sobresalir lo suficiente para evitar la refracción en alturas bajas.

Medidas protectoras en el receptor

Para niveles excesivos de ruido pueden aplicarse los siguientes métodos de control según Harris:

Aparatos de protección para el oído. Estos pueden ser tapones y cascos que resultan ser económicos y muy prácticos para los trabajadores del medio industrial, ya que están en constante trabajo con máquinas que funcionan durante largos periodos.

Cabinas. Este es un método muy similar al de los cerramientos, ya que de la misma manera se coloca un obstáculo que aísla al receptor y de esta forma reducir los niveles de ruido.

Programas de conservación de la audición. Estos métodos son los que resultan de las leyes y normas que se hacen en materia de impacto ambiental, con el fin de que las empresas controlen sus emisiones de ruido y la duración de éste. Esto es, porque al poner multas o sanciones a los infractores, las empresas tienen una mayor conciencia sobre el daño que produce los altos niveles de ruido.

1.6 Instrumentos de medición de ruido

Sonómetro

Las medidas de niveles de presión o de intensidad se realizan por medio del sonómetro (ver fig. 1.6). Éste es un aparato básico para toda medición acústica, ya que tiene una gran variedad de usos, entre los cuales están la clasificación de ruidos de máquinas, del tránsito y del medio ambiente.



Figura 1.6 Sonómetro

Es importante mencionar que los sonómetros se clasifican en 3 clases:

Clase 0 (Tipo 0): Laboratorio

Clase 1 (Tipo 1): Precisión

Clase 2 (tipo 2): Propósito general

Cabe señalar que los sonómetros con más tolerancia son los de propósito general, ya que estos datos no son de mucha relevancia. Los que tienen las menores tolerancias son los de laboratorio.

El sonómetro posee un micrófono, un amplificador, filtros ponderados y un cuadrante de lectura. Cuando se mide un ruido el micrófono capta toda la energía acústica de ese ruido, sin importar las frecuencias de los sonidos que lo componen.

El resultado que nos da el sonómetro viene dado por una sola cifra y representa el nivel global de ruido. De esta forma, dos ruidos que tengan espectros diferentes pueden tener el mismo nivel global.

Si no se hace uso de algún filtro de ponderación, la medida viene dada en decibelios o decibelios lineales. A continuación se mencionan los filtros de ponderación (ver fig. 1.7) que suelen usarse regularmente:

- Filtro de ponderación A. Es utilizado para modelar la respuesta del oído humano a niveles de presión bajos. Actualmente la mayoría de las normas utilizan este filtro de ponderación para determinar los niveles de ruido aceptables. A esto niveles se les denomina decibelio A, dB (A).
- Filtro de ponderación B. Se utiliza para modelar la respuesta del oído a niveles de presión medios. Actualmente este filtro de ponderación está fuera de uso. A esto niveles se les denomina decibelio B, dB (B).
- Filtro de ponderación C. Se utiliza para modelar la respuesta del oído a niveles de presión altos. Se utiliza para evaluar ruidos ambientales, así como, sonidos de baja frecuencia en la frecuencia audible. A esto niveles se les denomina decibelio C, dB (C).

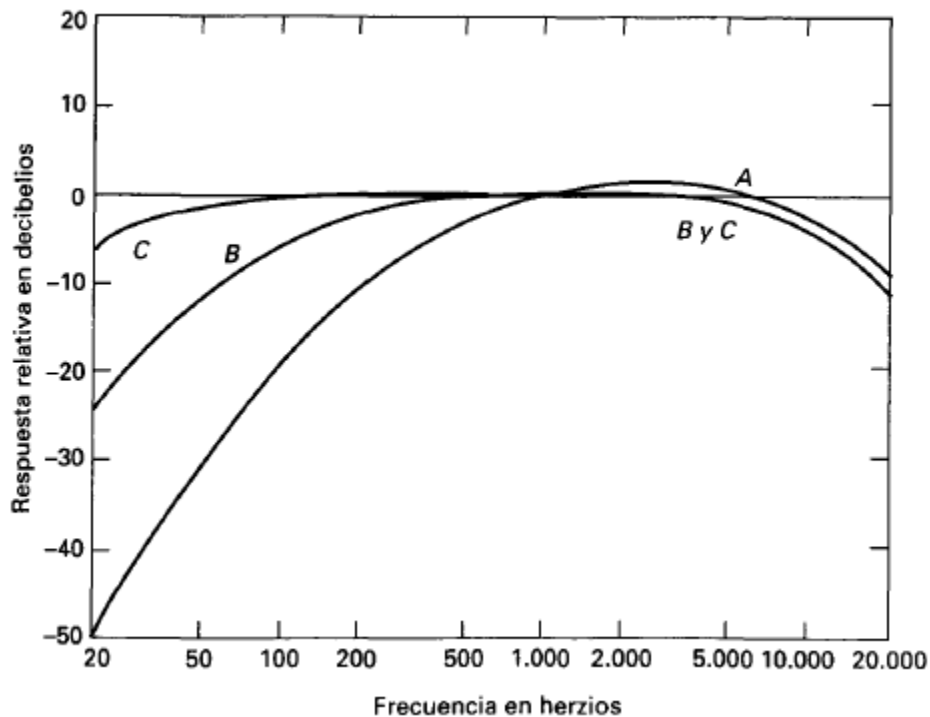


Figura 1.7 Curvas de ponderación (Harris, 1995)

Cabe señalar que existen otro tipo de ponderaciones llamadas temporales, las cuales dependen de la velocidad con la que se toman los niveles. A continuación se mencionan las siguientes:

-
- Ponderación rápida (fast). Se consideran mediante constantes nominales de tiempo de 125 milisegundos. Están influidos por los sonidos generados recientemente.
 - Ponderación temporal lenta (slow). Se consideran mediante constantes nominales de tiempo de 1000 milisegundos. Están influidos por los sonidos generados en un pasado distante.
 - Ponderación temporal por impulso. Posee una constante de 35 milisegundos para sonidos, midiendo la respuesta del oído humano a sonidos de corta duración.

Utilizando estas ponderaciones se puede obtener *los Niveles Máximos*. Estos niveles son los valores máximos que se obtienen en un determinado tiempo de medición, en la ponderación indicada. Otros niveles que de igual forma podemos obtener son los *Niveles Mínimos*, los cuales son los valores mínimos que se obtiene en un tiempo determinado.

Las mediciones del nivel acústico se hacen apuntado el micrófono hacia la fuente de ruido y leyendo el instrumento que ya está calibrado en dB. Las recomendaciones más comunes son alejar el instrumento del mismo cuerpo del observador, ya que éste último perturba el campo sonoro al absorber y/o reflejar energía; lo mismo sucede con las paredes o muros próximos. Por esto se recomienda hacer mediciones manteniendo una distancia de los obstáculos.

Por último, tenemos un complemento indispensable que es un calibrador externo, conocido como pistonphone o pistófono. El cual debe usarse antes de cada medición, ya que al hacerlo tenemos garantizado que el sonómetro se encuentra en condiciones correctas de funcionamiento.

Dosímetro

El dosímetro es un instrumento utilizado para medir la exposición sonora de una persona. Como se sabe el ruido sobre el oído humano no está relacionado solamente con el nivel acústico, sino también con la duración de exposición. Por esta razón para evaluar el peligro para la audición por la exposición al ruido, se ha introducido el término exposición sonora, que se expresa de la siguiente manera (1.22):

$$Leq = 10 \log \frac{1}{N} 10^{Li/10} \quad (1.22)$$

Leq es el nivel de exposición sonora

Li es el nivel sonoro instantáneo

N es el número de mediciones instantáneas

El dosímetro trabaja como un sonómetro integrador, es decir recibe la señal de una manera similar a como lo hace el sonómetro tradicional, acumula y procesa la información utilizando la ecuación 1.22.

Físicamente, el dosímetro (ver fig. 1.8) consta de una caja de tamaño reducido que puede llevarse a cualquier lugar de una manera cómoda. Un cable extendido conecta al dosímetro al micrófono, que suele llevarse en el cuello de la camisa. De esta forma, el micrófono recoge señales similares a las del oído.



Figura 1.8 Dosímetro

Espectrómetro

Resulta fundamental conocer el espectro de ruido cuando se trata de su control, ya que dependiendo de las frecuencias dominantes, tanto las técnicas como los materiales utilizados pueden ser totalmente diferentes.

El espectrómetro cumple con esta función, pues puede medir el nivel de ruidos comprendidos en una banda de frecuencia determinada, por lo que contiene una serie de filtros de frecuencia variable y de mayor o menor agudeza, según sus especificaciones.

Existe una gran variedad de espectrómetros y la diferencia entre ellos está principalmente en el ancho de banda que utilizan. Al respecto existen tres grandes grupos: analizadores de ancho de banda constante y de bandas nominales (octavas y tercias).

El primer grupo mide el nivel de los ruidos confinados dentro de una gama de frecuencias, cuyo ancho es constante e independiente de la frecuencia central. Por ejemplo, un espectrómetro que mide frecuencias entre 40 y 50 000 Hz, con un ancho de banda de 3, 10 o 50 Hz. Resulta conveniente decir que, por ejemplo, si es sintonizado en 3000 Hz, se puede medir los ruidos comprendidos entre: 2998.50 y 3001.50 Hz (ancho 3 Hz); 2995 y 3005 Hz (ancho 10 Hz); y 2975 y 3025 Hz (ancho 50 Hz).

En el segundo grupo, lo que se mantiene constante es el porcentaje respecto a la frecuencia central. Así, por ejemplo, regresando a nuestro espectrómetro anterior ahora con anchos de banda que son 6, 5, 8, 12, 16, 21 o 29% de la frecuencia central. De modo que, por ejemplo, para un ancho de banda de 5 % se tiene a 3000 Hz un ancho de banda de 150 Hz.

El tercer grupo es similar al anterior, sólo que trabaja con bandas fijas determinadas por normas internacionales. Así se tiene que para las bandas octavas la relación de frecuencias límites superior e inferior es 2, para las medias octavas $\sqrt{2}$ y para los tercios $\sqrt[3]{2}$.

1.7 El oído

El oído es un órgano que transforma las presiones sonoras en sensaciones auditivas, pero esta sensibilidad es limitada, es decir, no puede percibir de la misma forma todas las frecuencias. El oído normal solamente percibe frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 15000 Hz.

En este intervalo de frecuencia, la sensibilidad del oído varía. Esta sensibilidad es máxima para la frecuencias entre 500 Hz y 5000 Hz y se atenúa fuertemente para las frecuencias bajas. Por ejemplo, *supongamos que el oído percibe un sonido de 40 dB a 1000 Hz, tendrá la misma impresión de nivel sonoro que si se percibe un sonido de 60 dB a 62.5 Hz.*⁴

Otras funciones del oído es contribuir en el equilibrio del cuerpo humano. Algunas afecciones en el oído pueden hacer que el individuo padezca de vértigos más o menos pronunciados.

El oído es un órgano que se encuentra muy expuesto a la contaminación del exterior, incluyendo la del ruido, por lo cual puede resultar afectado cuando no se le dan los cuidados necesarios. Por esto

⁴ (Meisser, 1973)

resulta importante saber acerca de su función, su estructura y de las consecuencias que conlleva un mal cuidado de éste.

Anatomía y fisiología

Primeramente hay que establecer que para fines de estudio, el oído humano se divide en oído externo, medio e interno (ver fig. 1.9).

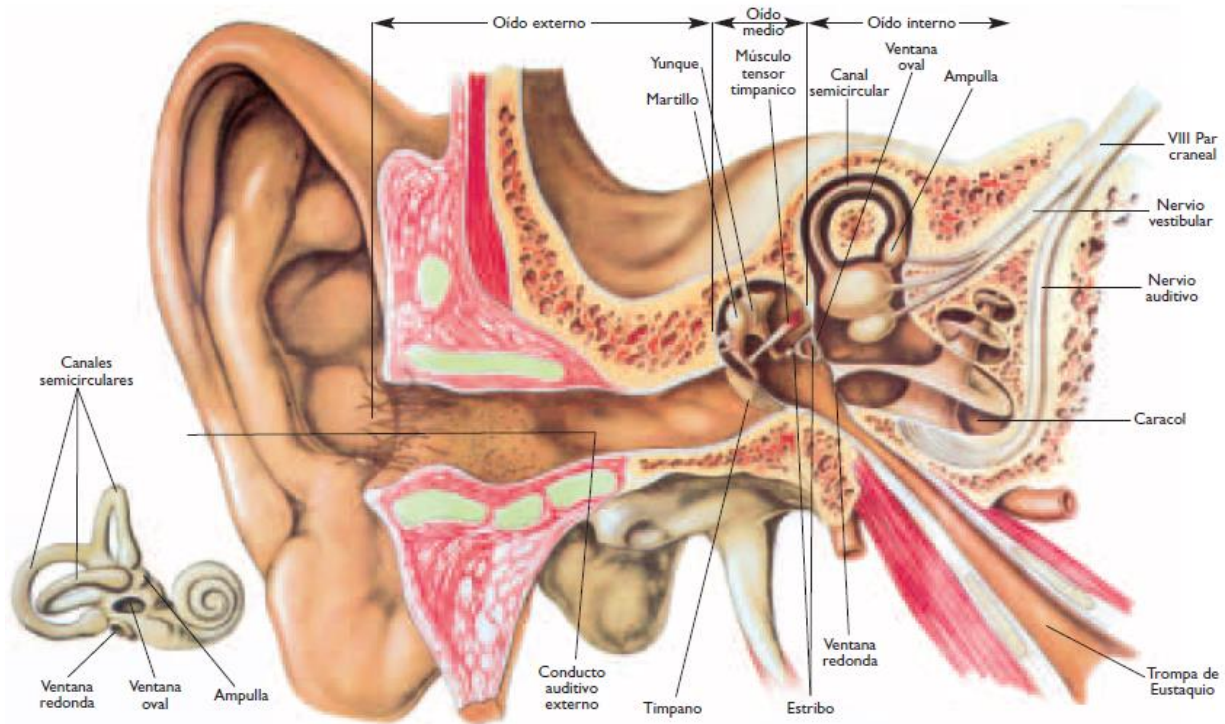


Figura 1.9 El oído humano (Sáenz, 2004)

El oído externo comprende desde el pabellón y el conducto auditivo, el cual mide 3 cm de longitud y 0.70 cm de diámetro que comienza en el pabellón y termina en el tímpano. Todo el conjunto de oído externo funciona como un embudo acústico, incrementado la sensibilidad auditiva.

Las ondas sonoras que penetran en el oído externo, hacen vibrar al tímpano, que es la pared entre el oído externo y el oído medio, el cual consta de una cavidad pequeña de aproximadamente 2 cm³ de volumen . Dentro del oído medio se encuentran 3 huesecillos: el martillo, el yunque y el estribo, ligados mecánicamente, de modo que las vibraciones del tímpano se transmiten al martillo y de éste al yunque. Por último el estribo se encarga de transmitir a la ventana oval.

El oído medio como se había mencionado está limitado por el tímpano en uno de sus extremos y en el otro extremo por las ventanas oval y redonda. También está comunicado con la cavidad bucal mediante un conducto que se llama trompa de Eustaquio, cuya función es equilibrar las presiones estáticas del aire que puedan aparecer sobre el tímpano.

La ventana oval se encuentra entre la separación de los oídos medio e interno. En ambos la transmisión sonora se realiza por vía sólida. En el oído medio se lleva a cabo por medio de vibraciones de la cadena de huesecillos y en el oído interno el medio de transmisión es líquido.

El oído interno está constituido por un caracol el cual está lleno de líquido. Las presiones que se comunican con el estribo por la ventana oval, ponen a vibrar el líquido contenido y el movimiento hace oscilar unos 25 000 filetes nerviosos. Son ellos los que transforman la vibración, que es de naturaleza mecánica, en señales nerviosas de naturaleza electroquímica. El número elevado de filetes nerviosos explica la función de analizador de frecuencias que cumple el oído humano y posteriormente se completa en el cerebro.

Dentro de oído también se encuentran los canales semicirculares. Estos consisten en tres conductos semicirculares dispuestos de acuerdo a tres planos ortogonales entre sí. Su función es contribuir en el equilibrio del cuerpo humano.

Campo auditivo

El campo auditivo o zona de sensibilidad del oído humano, está limitado por la zona de infrasonidos, la zona de los ultrasonidos, el umbral de audibilidad y el umbral del dolor (ver fig. 1.10). A continuación se dará una breve explicación de cada una de estas zonas:

Como ya se había mencionado anteriormente infrasonidos corresponden a frecuencias menores a 20 Hz y los ultrasonidos a frecuencias mayores a los 15 KHz.

El umbral de audibilidad es la curva que representa el nivel de presión acústica mínima que puede detectar una persona a diferentes frecuencias, se mide mediante un audímetro y varía de persona en persona.

El umbral del dolor representa el nivel de presión acústica donde la sensación producida es de dolor. Por encima de este umbral, el oído no percibe diferencias de nivel.

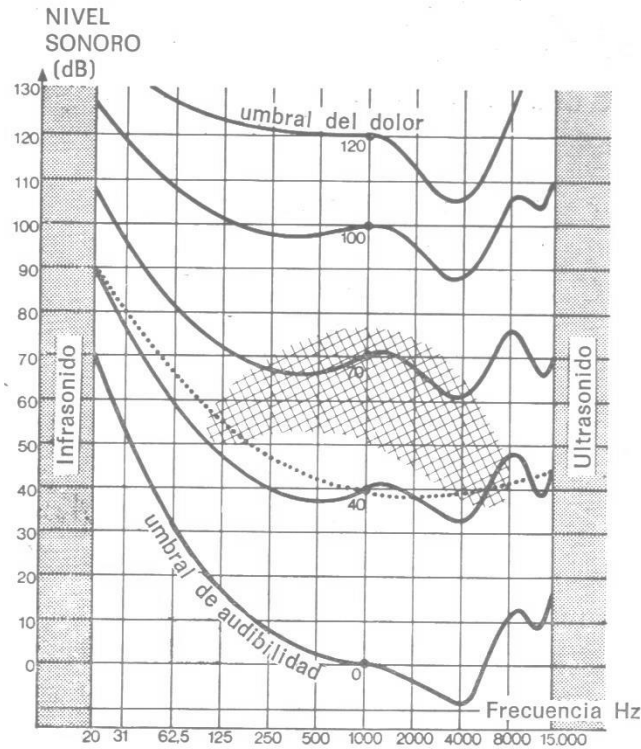


Figura 1.10 Curvas de igual sensación del oído. (Meisser, 1973)

1.8 Efectos del ruido

Como se sabe la audición es invaluable para el ser humano, ya que ésta permite comunicarnos para poder lograr muchos de nuestros objetivos. La audición nos permite percibir la mayoría de los sonidos de la naturaleza, aunque algunos pueden llegar a ser agradables o no, intensos o débiles, etc. En ocasiones éstos pueden ocasionar daños temporales o permanentes en nuestro oído. Es por ello que resulta importante el estudio del ruido y sus efectos.

El efecto de ruido sobre los humanos puede dividirse en dos bloques, los cuales son: los efectos auditivos y los efectos no auditivos.

Efectos Auditivos

Los auditivos como su propio nombre lo indica se refieren a los problemas que pueden tener las personas que están expuestas al ruido la mayor parte de día. Esto es lo que a muchas personas les sucede, ya que al estar expuestas demasiado tiempo al ruido pierden paulatinamente la capacidad auditiva.

A pesar de que la principal consecuencia de los efectos auditivos es la pérdida paulatina de la audición, resulta importante mencionar que esto también conlleva efectos secundarios que tienen

igual o mayor seriedad, ya que al momento de que una persona comienza a escuchar menos, evita mantener conversaciones y en ocasiones cambia su personalidad. Esto conlleva a desarrollar problemas psicológicos que a su vez pueden originar problemas sociales, económicos y de rendimiento.

Desplazamiento temporal del umbral

Como ya se había mencionado cuando una persona está expuesta a ruidos intensos su sensibilidad auditiva disminuye, por lo cual es necesario un mayor nivel de presión acústica para lograr oír. Así la sensibilidad auditiva se eleva más a frecuencias en la vecindad de los 4000 Hz. A esto se le conoce como el pozo de los 4000 Hz.

Es importante mencionar que la pérdida temporal de la audición no es algo inmediato ni irreversible en un inicio. Como cita Behar: *“Este es un fenómeno parecido al que se observa después de estar expuesto al sol y luego entrar a un sitio oscuro: se tarda en ver el interior”*⁵.

Con el ruido sucede casi lo mismo, al salir de un sitio ruidoso se tiene la sensación de tener los oídos tapados y estar aturdido. Después de unas horas o días, dependiendo mucho de la persona, la sensibilidad auditiva se recupera. Esto fisiológicamente se trata de una fatiga de células ciliares, que necesitan reponerse para regresar a su estado natural.

Desplazamiento permanente del umbral

Si una persona se expone a un ruido intenso frecuentemente sin dejar que su oído se haya recuperado, las células ciliares se debilitan y mueren. Este efecto se puede ver en los cortes anatómicos en la membrana basilar, donde estas células tienen un aspecto que parece como si hubieran sido lijadas.

Está comprobado que la pérdida de la audición producida por el ruido depende de la combinación de los niveles sonoros y de la duración a la exposición.

Efectos no auditivos

Los efectos no auditivos son más difíciles de entender, ya que no se conoce demasiado de estos. Esto es porque los efectos son de carácter más personal, ya que entran en juego factores como la costumbre, la situación económica, el equilibrio nervioso, etc.

⁵ (Behar, 1994)

Malestar

Este es uno de los efectos más comunes ocasionados por el ruido sobre las personas y la causa inmediata de la mayor parte de las quejas.

Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Todo esto contrasta con la definición de salud que da la Organización Mundial de la Salud: “Un estado de completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad”.⁶

Trauma psíquico

La pérdida de la audición afecta en el equilibrio psíquico de una persona. Esto es porque la persona al no oír bien se esfuerza por mantener las conversaciones, este esfuerzo es mayor a medida que existen más sonidos en el ambiente, lo cual muchas veces lo obliga a abandonar las conversaciones y alejarse de éstas, generando un cambio en la actitud del individuo.

El nivel de malestar no solo varía en función de la intensidad del ruido y de otras características físicas del mismo, sino también de los factores como miedos asociados a la fuente de ruidos. Si el ruido es intermitente influyen la intensidad de cada periodo y el número de estos.

Perdida de concentración y rendimiento

La pérdida de la concentración puede producirse cuando alguien se encuentra realizando una actividad y es afectado por el ruido de fondo o por algún ruido repentino. Esto puede bajar el rendimiento en la tarea, especialmente en aquello que requiera concentración máxima. Un ejemplo puede ser alguna persona que se encargue de cortar con precisión materiales, al ser distraído por algún sonido fuerte puede dañar su trabajo y peor aún tener algún tipo de accidente.

Se sabe que algunos casos las consecuencias serán duraderas, por ejemplo, los niños sometidos a altos niveles de ruido durante su edad escolar no sólo aprenden a leer con mayor dificultad sino que también tienden a alcanzar grados inferiores en el dominio de la lectura.⁷

Trastornos del sueño

Los efectos que ocasiona el ruido en el sueño pueden clasificarse de tres formas distintas, según su momento de aparición:

⁶ (Miranda, 2006)

⁷ (Miranda, 2006)

Alteraciones primarias. Son aquellas que causan dificultad para iniciar el sueño, alteraciones del patrón o intensidad del sueño e interrupciones del mismo. Otros efectos primarios que pueden presentarse durante el sueño con exposición al ruido son: el aumento de la presión arterial, aumento del ritmo cardiaco, arritmia cardiaca, vasoconstricción, cambios en la frecuencia respiratoria y movimientos corporales.

Alteraciones secundarias. Son aquellos efectos que aparecen durante la mañana o el día después de la exposición al ruido durante el sueño. Esto ocasiona una reducción en la calidad percibida del sueño, fatiga, modificaciones del carácter y alteración en el bienestar.

Alteraciones terciarias. Estos son los efectos que se ocasionan a largo plazo después de una exposición prolongada al ruido durante el sueño. Esto puede dar lugar gradualmente a la aparición de enfermedades funcionales, que con el tiempo pueden llegar a ser enfermedades orgánicas progresivas e irreversibles.

El estrés

Como se sabe el estrés es una reacción inespecífica ante factores agresivos del entorno físico, psíquico y social. En primera instancia puede considerarse como una respuesta fisiológica normal del organismo para defenderse de posibles amenazas. Sin embargo, si esta reacción se repite en varias ocasiones, resulta sistemáticamente inefectiva, ya que podría llegar a agotar los mecanismos normales, produciendo un desequilibrio en los mismos que, con el tiempo, pueden manifestarse en diferentes alteraciones a la salud.

Cabe señalar que se ha relacionado al estrés con otras enfermedades como lo son: enfermedades cardiovasculares, alteraciones en el aparato digestivo, alteraciones en el sistema inmunitario de defensa o el sistema de reproducción, por citar algunos ejemplos.

Se ha estimado que los trabajadores expuestos permanentemente a niveles de ruido elevados (mayores a 85 dB (A)), presentan un mayor riesgo de padecer afecciones cardiovasculares que los no expuestos. Una exposición a niveles menores (menores a 65 dB (A)), en determinadas condiciones, puede ocasionar reacciones de estrés, aunque los efectos a largo plazo de estos efectos son menos conocidos.⁸

⁸ (Miranda, 2006)

La habituación al ruido

Se sabe que hay personas que viviendo cerca de un aeropuerto o de una fuente de grandes emisiones de ruido, logran conciliar el sueño, aun cuando éste sea de poca calidad. Esto es porque el organismo se habitúa al ruido, empleando para ello dos mecanismos de defensa, por cada uno se paga un precio diferente.

El primer mecanismo es la disminución de la sensibilidad auditiva y, su precio, la sordera temporal o permanente. Esto es algo grave, porque al disminuir la agudeza auditiva no sólo ya no escucharán los ruidos ocasionados por la fuente emisora, si no otros sonidos de intensidad baja también.

El segundo mecanismo se trata de una adaptación en las capas corticales del cerebro. Dicho de otra forma, oímos el ruido, pero no nos damos cuenta. Durante el sueño las señales llegan a nuestro sistema nervioso, no nos despiertan, pero desencadenan consecuencias fisiológicas de las que no somos conscientes: la frecuencia cardiaca, el flujo sanguíneo o actividad eléctrica cerebral.

Problema económico

Este problema se presenta principalmente en las empresas donde sus trabajadores tienen largos periodos de trabajo con ruidos, ya que al estar expuestos constantemente a estos sonidos, comienzan a tener un cansancio por lo cual su rendimiento se reduce considerablemente. Debido a lo anterior, la empresa pierde horas de trabajo y calidad en los trabajos que se entregan, por lo cual las ganancias disminuyen.

2. NORMATIVIDAD

Las normatividades son las que nos ayudan y asesoran en el momento de determinar nuestro sitio de estudio, los puntos, los horarios, el equipo a utilizar, la manera de hacer nuestras mediciones y los límites que deben cumplirse de acuerdo a lo que se mide y se estudia.

Es por esto que resulta importante saber cuáles son las leyes y normatividades que rigen en la región, ya que de esta forma podemos garantizar que nuestros resultados sean conforme a lo establecido, lo cual le dará validez al trabajo.

En este capítulo se mencionan reglamentos y normas que se han utilizado a través del tiempo para estudiar los niveles de ruido emitidos por distintas fuentes. Cabe mencionar que estos reglamentos y normas, fueron actualizándose y reformándose con el fin de obtener niveles adecuados de ruido e impedir daños a la población.

2.1 Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido

Este reglamento fue publicado en 1982 en el Diario Oficial de la Federación y fue el primer reglamento que se hizo para solucionar y regular los problemas de ruido que comenzaban a tenerse en la ciudad. Este aumento del nivel de ruido se debió a que la ciudad comenzaba a crecer, por tanto el tráfico aumentaba, la cantidad de vuelos en el AICM era mayor y a la construcción de nuevas obras de infraestructura.

Este reglamento era de observancia general en todo el país y tenía por objeto: *“Proveer en la esfera administrativa, al cumplimiento de la Ley Federal de Protección al Ambiente, en lo que se refiere a emisión contaminante de ruido, proveniente de fuentes artificiales”*.

Las fuentes artificiales de contaminación ambiental originada por la emisión de ruido eran las siguientes:

- I. Fijas.- Todo tipo de industria, máquinas con motores de combustión, terminales y bases de autobuses y ferrocarriles, aeropuertos, clubes cinegéticos y polígonos de tiro; ferias, tianguis, circos y otras semejantes.
- II. Móviles.- Aviones, helicópteros, ferrocarriles, tracto camiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipos con maquinaria, con motores de combustión y similares.

El nivel de ruido máximo permisible en las fuentes fijas estaba establecido de acuerdo a como se muestra en la tabla 2.1. Cabe mencionar que estos niveles eran determinados al igual que en la actualidad por dos intervalos de horarios al día.

Tabla 2.1 Límites máximos permisible

Horario	Límites máximos permisibles dB (A)
6:00 a 22:00	68
22:00 a 6:00	65

Es importante mencionar que en este reglamento aún no existía una especificación que nos permitiera medir el nivel de ruido generado por los aviones, de igual forma no se tenía un límite máximo para el nivel que emitieran estos. Es por ello que la gente que habitaba en los alrededores de los aeropuertos podría tener grandes problemas de salud, ya que los niveles de ruido que ellos recibían no eran regulados.

Cabe señalar que en este reglamento también se tenían que determinar los siguientes puntos antes de comenzar con el estudio correspondiente:

1. Los efectos molestos y peligrosos en las personas que pudieran tener estos niveles de ruido.
2. La planeación, los programas y normas que deben ponerse en marcha para prevenir y controlar los niveles de ruido.
3. Los niveles de presión acústica, banda de frecuencia, duración, ubicación, y demás características de la zona donde se producen estos niveles.
4. Conocer si se trataban de fuentes fijas o móviles.

La razón por la que se menciona este reglamento, que actualmente ya no está en uso, es para saber cómo ha sido el avance de las nuevas normas y leyes que se han ido saliendo a lo largo de los años. Más adelante se podrá apreciar que muchos puntos que se tenían en este reglamento aún se conservan en las normas y leyes futuras, pero con modificaciones en éstos que ayudan a reducir más las emisiones y niveles de ruido ocasionado por las fuentes de origen.

2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA)

Esta ley fue publicada el 28 de enero de 1988 y fue reformada por última vez el 5 de noviembre del 2013. Esta ley no solamente toca el tema ruido, sino que regula aspectos en general para el cuidado y conservación del medio ambiente (suelo, agua y aire).

Para cumplir con todos los artículos dispuestos en la ley se regula en conjunto con la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Trabajo y Previsión Social.

A continuación se muestran los artículos que se relacionan con el ruido de acuerdo a la LEEGEP. Cabe mencionar que estos artículos fueron reformados en el 13 de diciembre de 1996.

“Artículo 5°.- Son facultades de la federación:

Fracción XV.- La regulación de la prevención de la contaminación ambiental originada por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente.”

“Artículo 7°.- Corresponde a los Estados:

Fracción X.- La prevención y el control de la contaminación generada por la emisión de ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales al equilibrio ecológico o al ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como, en su caso, de fuentes móviles que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal.”

“Artículo 8°.- Corresponde a los Municipios:

Fracción VI.- La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, radiaciones electromagnéticas y lumínica y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones que, en su caso, resulten aplicables a las fuentes móviles excepto las que conforme a esta Ley sean consideradas de jurisdicción federal.”

“Artículo 11°.- La Federación, por conducto de la Secretaría, podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación con el objeto de que los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados,

con la participación, en su caso, de sus Municipios, asuman las siguientes facultades, en el ámbito de su jurisdicción territorial:

Fracción VII.-La prevención y control de la contaminación ambiental originada por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas y móviles de competencia federal y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes.”

“Artículo 155.- Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos establecidos en las normas oficiales mexicanas que para ese efecto expida la Secretaría, considerando los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de contaminantes en el ambiente que determine la Secretaría de Salud. Las autoridades federales o locales, según su esfera de competencia, adoptarán las medidas para impedir que se transgredan dichos límites y en su caso, aplicarán las sanciones correspondientes.”

“Artículo 156.- - Las normas oficiales mexicanas en materias objeto, establecerán los procedimientos a fin de prevenir y controlar la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores, y fijarán los límites de emisión respectivos.”⁹

Cabe mencionar que estos artículos al hablar de “Secretaría” se refieren a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). De esta forma se puede entender que a la normas que se refiere está ley son las expedidas por la SEMARNAT.

2.3 NOM-081-SEMARNAT-1994

El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determinará los niveles de ruido emitidos hacia el ambiente.

Fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental el 10 de noviembre de 1994, siendo vigente desde ese año y reformada el 23 de abril de 2003.

Esta norma es aplicable en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos y actividades en la vía pública.

⁹ (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental)

Es importante mencionar que esta norma toma como referencia otras normas expedidas de igual forma por la SEMARNAT. Estas normas contienen todo lo necesario para poder realizar las mediciones de ruido desde su clasificación hasta la determinación de los niveles de ruido. A continuación se muestran las normas comentadas:

- NMX-AA-40 Clasificación de ruidos
- NMX-AA-43 Determinación del nivel sonoro emitido por las fuentes fijas
- NMX-AA-59 Sonómetro de precisión
- NMX-AA-62 Determinación del nivel de ruido ambiental

Es conveniente señalar que esta norma es aplicable en fuentes fijas. Una fuente fija de acuerdo a la norma, es una instalación establecida en un solo lugar que tiene como fin desarrollar actividades industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen emisiones contaminantes a la atmósfera. Ésta debe considerarse como un elemento o conjunto de elementos capaces de producir ruidos que es emitido hacia el exterior a través de las colindancias del predio por medio del aire y/o suelo.

Las especificaciones que se establecen en la norma para obtener los niveles de ruido de una fuente fija, son las siguientes:

1. La medición de ruido que generan las fuentes fijas se mide obteniendo su nivel acústico en ponderación “A” (dB (A)).
2. Se elegirá un equipo de medición que cumple con los requisitos de la norma presente.
3. Para obtener el nivel acústico de una fuente fija se debe aplicar el procedimiento de actividades siguientes: Un reconocimiento inicial del lugar, una medición de campo, un procesamiento de datos y la elaboración de un informe de medición.

Los límites máximos permisibles del nivel acústico en ponderación A que establece la norma son los que se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Límites máximos permisibles

Horario	Límites máximos permisibles dB (A)
6:00 a 22:00	68
22:00 a 6:00	65

Como se observa estos niveles no han cambiado de acuerdo con los establecidos en el Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido. De igual forma se puede observar que la metodología de la obtención de los niveles acústicos se mantiene prácticamente igual, sólo que al ser más reciente esta norma, al momento de su elaboración ya se contaba con más recursos tecnológicos, información más detallada y con las normas tomadas como referencia.

2.4 NOM-036-SCT3-2000

El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónica, propulsada por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites, y aplica a todos los concesionarios u operadores aéreos nacionales o extranjeros que operen o pretendan operar dentro de la República Mexicana. Fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Transporte Aéreo, de la Secretaría de Comunicaciones y transportes el 23 de noviembre de 2000.

La norma establece que cualquier concesionario, permisionario u operador, nacional o internacional, que opere o pretenda operar en el territorio mexicano aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas, helicópteros, deberán cumplir con lo establecido en ésta.

El procedimiento en general para obtener los niveles acústicos de ruido de acuerdo a esta norma es el siguiente:

1. Aplicabilidad. Se refiere a conocer las características de la aeronave, tales como las del motor y las de la pista que debe ser necesaria para la correcta operación de la aeronave.
2. Medida de evaluación de ruido. En esta norma se utiliza el nivel efectivo de ruido percibido (EPNL), expresado en nivel de ruido percibido en decibeles (EPNdB).
3. Puntos de medición. Estos puntos se dividen en las siguientes tres secciones: Punto de medición de ruido lateral, punto de medición del ruido de sobrevuelo y punto de medición del ruido de aproximación.
4. Niveles máximos de ruido. Estos niveles se determinan mediante el peso de la aeronave y el punto donde se realicen las mediciones.
5. Compensaciones. Estas se realizan cuando se exceden los niveles máximos de ruido en uno dos puntos de medición.

-
-
6. Procedimiento de ensayo. En este punto es donde se determina de qué forma se harán las mediciones cuando un avión está punto de despegar o de aproximarse.

En general esta norma es la que permite saber si los aviones cumplen con lo especificado en el momento en que se fabricó. También puede ayudar a saber cuándo el motor o algún componente de la aeronave está fallando, ya que en muchas ocasiones esto puede ser lo que origina que los niveles de ruido están fuera de lo habitual.

Por último, resulta importante mencionar que esta norma se ha elaborado para medir niveles de ruido en fuentes móviles, el cual es el caso de los aviones. Esto quiere decir que al momento de hacer un estudio de ruido, de acuerdo a lo que indica esta norma, no obtendremos el nivel del ruido total de un aeropuerto, si no el nivel de ruido de cada aeronave.

2.5 NADF-005-AMBT-2006

Es la norma ambiental para el Distrito Federal que establece las condiciones de medición y los límites máximos permisibles de emisiones sonoras, que deberán cumplir los responsables de fuentes ubicadas en el Distrito Federal.

El objetivo es establecer las especificaciones de los equipos, condiciones y procedimiento de medición, así como los límites máximos permisibles de emisiones sonoras de las actividades o giros que para poder realizar sus actividades cotidianas necesiten maquinaria, equipo, instrumentos, herramientas, artefactos o cualquier otro objeto que genere ruido al ambiente. Y como se dijo anteriormente se aplica a todas aquellas fuentes emisoras localizadas en el Distrito Federal.

La norma considera como fuentes a emisoras a las fuentes fijas ubicadas en el territorio del Distrito Federal, así como bienes inmuebles en general, incluidos los de uso habitacional, que por la maquinaria, equipo, instrumentos, herramientas, artefactos y/o instalaciones que se encuentren en ellos, o por las actividades que en ellos se realicen, produzcan de forma continua o discontinua emisiones sonoras.

Las especificaciones que se establecen en la norma para obtener los niveles de ruido de una fuente fija, son las siguientes:

1. Equipo de medición. Es el equipo que se utilizará para obtener los niveles acústicos, comúnmente es un sonómetro.
2. Condiciones mínimas de medición. Son aquellas que se refieren al clima y condiciones ideales para la operación del equipo.

3. Ubicación de los puntos de medición. Son los sitios donde se considere importante obtener los niveles acústicos generados por la fuente.
4. Mediciones. Son las que determinaron los niveles de la fuente emisora y los del ruido de fondo.
5. Corrección de mediciones. Esto se refiere a los cálculos necesarios para poder corregir nuestros resultados que pueden ser alterados por algunos obstáculos.

Los niveles máximos permisibles que establece esta norma se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Límites máximos permisibles

Horario	Límites máximos permisibles dB (A)
6:00 a 20:00	65
20:00 a 6:00	62

Estos niveles como se puede observar se encuentran 3 dB (A) abajo, conforme a lo establecido en la NOM-081-SEMARNAT-1994. Esto es porque al ser una norma exclusiva del Distrito Federal, fue diseñada para reducir los altos niveles de ruido que se producen, ya que al ser la entidad más habitada de la República Mexicana emite niveles acústicos altos.

2.6 Organización Mundial de la Salud (OMS)

*La OMS es la autoridad directiva y coordinadora sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas. Es responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.*¹⁰

En 1980 la OMS comenzó a tratar el problema del ruido urbano. Como resultado de esto se elaboraron las guías para el ruido urbano, las cuales pueden ser base para la elaboración de normas teniendo como referencia la gestión de ruido. Los aspectos claves en la gestión de ruido son las opciones para reducirlo, los modelos de predicción y la evaluación del control en la fuente.

El objetivo de la OMS al preparar las guías para el ruido urbano es consolidar el conocimiento científico de las consecuencias provocadas por el ruido urbano en la salud y orientar a las

¹⁰ (Organización Mundial de la Salud)

autoridades y profesionales de la salud ambiental que se encargan de proteger a la población de los efectos de ruido en ambientes que no son industriales.

En la tabla 2.4 se muestran los valores guía de la OMS ordenados por ambientes específicos y efectos críticos sobre la salud.

Tabla 2.4 Valores guía para el ruido urbano en ambientes específicos¹¹

Ambiente específico	Efectos en la Salud	LAeq dB (A)	Tiempo (horas)	LAmáx dB (A)
Exteriores	Malestar fuerte, día y anochecer	55	16	-
	Malestar moderado, día y anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación verbal, día y anochecer	35	16	-
	Perturbación del sueño, noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Perturbación del sueño, ventana abierta (valores en el exterior)	45	8	60
Aulas de escolar y preescolar, interior	Interferencia en la comunicación, perturbación en la extracción de información, inteligibilidad, del mensaje	35	Durante la clase	-
Dormitorios de preescolar, interior	Perturbación del sueño	30	Horas de descanso	45
Escolar, terrenos de juego	Malestar (fuentes externas)	55	Durante el juego	-
Salas de Hospitales, interior	Perturbación del sueño, noche	30	8	40
	Perturbación del sueño, día y anochecer	30	16	-
Salas de tratamiento en hospitales, interior	Interferencia con descanso y restablecimiento	1		
Zonas industriales, comerciales y de tráfico, interior y exterior	Daños al oído	70	24	110
Ceremonias, festivales y actividades recreativas	Daños al oído(asistentes habituales menos de 5 veces por año)	100	4	110
Altavoces, interior y exterior	Daños al oído	85	4	110
Música a través de cascos y auriculares	Daños al oído	85 ⁴	1	140 ²
Sonidos impulsivos de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego	Daños al oído en adultos y niños	-	1	120 ²
Exteriores en parques y áreas protegidas	Perturbación de la tranquilidad	3		

Notas:

1: Tan débil como se pueda.

2: Presión sonora pico medida a 100 mm del oído,

3: Las zonas tranquilas exteriores deben preservarse y minimizar el ruido en ellas,

4: Bajo los casos, aceptada a campo libre.

¹¹ (Salud, 1999)

2.7 Criterios para la selección de las normas aplicables

Una vez presentadas las normas y leyes anteriores, es importante señalar cuáles se emplearán en este estudio; así como dar una explicación de por qué algunas normas serán excluidas y otras servirán como base para obtener resultados precisos y confiables. Para ello se hacen las siguientes observaciones:

- Primeramente cabe señalar que todo el estudio se hará a cabo conforme a lo que dice la LEEGPA, ya que todas las normas existentes en la República Mexicana deben cumplir con cada uno de los artículos que establece esta Ley .
- La NOM-036-SCT3-2000 no se empleará en este estudio, ya que esta norma se emplea para estudiar cada aeronave y uno de los objetivos es obtener el nivel de ruido que genera el los alrededores del aeropuerto como conjunto.
- Respecto a la NADF-005-AMBT-2006 se puede observar que tiene métodos similares a los empleados en la NOM-081-SEMARNAT-1994, por ello no se utilizará para el procedimiento de dichos métodos. Además, esta norma establece que al medir los niveles de ruido de fondo deberá de apagarse la fuente de emisión, lo cual resulta casi imposible, pues el aeropuerto funciona las 24 horas del día, debido a la gran cantidad de vuelos que existe, muchos de ellos de gran importancia. Es por esto que sólo se utilizará esta norma para comparar los niveles máximos permisibles con los obtenidos durante el estudio.
- La NOM-081-SEMARNAT-1994 será la que se empleará para la realizar el estudio de campo y el análisis de resultados, ya que esta norma resulta ser la más indicada para los objetivos que se tienen planteados, pues resulta ser una norma bastante completa al apoyarse de otras que de igual forma son expedidas por la SEMARNAT. Además, cabe señalar que es una norma realizada para fuentes fijas, como es el caso del AICM y sus alrededores.
- Por último se compararán los niveles de ruido obtenidos con los niveles máximos permisibles que establece la OMS. Esto con el fin de saber si se cumple con la normatividad que se establece mundialmente con el fin de no generar problemas en la audición.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Descripción del lugar

El AICM es el más importante del país, ya que atiende el 35% de las operaciones aéreas que se realizan en el territorio nacional. Atiende a la población del D.F., Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Pachuca, Querétaro y Toluca. Esto es aproximadamente el 20% de la población total. Fue el primer aeropuerto civil mexicano y también el principal de América Latina. Está construido al norte del Antiguo Aeródromo Militar Balbuena.

El 8 de julio de 1943 el Diario Oficial de la Federación publicó el decreto que declaraba internacional al Puerto Aéreo de la Ciudad de México, para efectos de entrada y salidas de pasajeros y aviones.

Posteriormente en el 2 de diciembre de 1963, por acuerdo del secretario de Comunicaciones y Transportes, el Puerto Aéreo central, cambió su nombre a Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) y el 24 de noviembre del 2006 se le denomina Benito Juárez mediante un decreto que fue publicado en el Diario Oficial de la Federación.

El 30 de mayo de 2003, el Gobierno Federal anunció la ampliación y modernización del AICM, ya que se pretendía satisfacer a la creciente demanda y permitirle ser unos de los mejores aeropuertos en calidad, servicios, seguridad y funcionalidad operativa. Esto también permitiría aumentar la capacidad anual de atención a pasajeros de 20 a 32 millones.

Las obras fueron realizadas a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y el propio AICM. Se amplió y remodeló la Terminal 1, en una superficie de 90, 000 m², de los cuales 48,000 m² fueron destinados a nueva construcción y 42,000 m² a remodelación.

Entre las obras que se realizaron se encuentran: la ampliación a la sala de reclamos, ampliación del pasillo principal, ampliación y mejoramiento de la vialidad de Terminal 1, se construyó en la vialidad un nuevo drenaje para evitar inundaciones, una zona aduanal, etc. Todo esto con el fin de tener un aeropuerto con estándares internacionales y mejorar área operativa.

La ampliación y remodelación del AICM también contempló la construcción de una nueva terminal, con el fin de brindar un mejor servicio a sus usuarios.

Es por ello que se construye la Terminal 2 sobre una superficie de 242, 666. 55 m². Esta terminal cuenta con los sistemas más modernos de seguridad, de acuerdo a las normas internacionales. Además cuenta con puentes elevados y nuevas vialidades de acceso y salida; así mismo tiene la capacidad para recibir al nuevo Airbus 380.

Las operaciones aéreas en las nuevas instalaciones comenzaron el 15 de noviembre del 2007, con vuelos de Aeromar y Delta Airlines, aunque la Terminal 2 fue formalmente inaugurada el 26 de marzo de 2008 por el entonces Presidente Felipe Calderón Hinojosa.

Características físicas y especificaciones del aeropuerto

Las características físicas y especificaciones del AICM son diferentes en cada una de sus terminales. Estas características se muestran a continuación:

Terminal 1

- Superficie total: 548,000 m²
- Posiciones de contacto: 33
- Posiciones remotas: 20
- Número de pasarelas de acceso a aeronaves: 32
- Número de salas de documentación: 9
- Número de salas de aire: 10
- Número de salas móviles: 11
- Servicio de hotel: 600 habitaciones en hotel Camino Real y 100 habitaciones en hotel Hilton.
- Servicio de estacionamientos: 3,100 vehículos domésticos y 2,400 vehículos internacionales.
- Numero de bandas de reclamo de equipaje: 22

Terminal 2

- Superficie total: 242,000 m²
- Posiciones de contacto: 23
- Posiciones remotas: 7+10 (Aeromar)
- Número de pasarelas de acceso a aeronaves: 23
- Número de salas de documentación: 3
- Número de salas de aire: 2

-
- Número de salas móviles: 11
 - Servicio de hotel: 300 habitaciones
 - Servicio de estacionamientos: 3,000 vehículos
 - Número de bandas de reclamo de equipaje: 15

Cabe señalar que la Terminal 1 y Terminal 2 están comunicadas por medio de un tren de interterminales que tiene un recorrido de 3 km, además de un sistema de vialidades directas, las cuales son: el distribuidor D1 que conecta a T1 y T2 con Río Consulado y el D2 que conecta T1 y T2 directamente con viaducto de la Piedad y Río Churubusco.

3.2 Ubicación y localización

El AICM se encuentra en el D.F. y cerca del área metropolitana del Estado de México. Este inmueble se ubica muy cerca de una gran cantidad de condominios habitacionales e importantes avenidas lo rodean. Esto ocasiona que los habitantes que están alrededor se expongan a grandes niveles de ruido producidos tanto por el aeropuerto como por los vehículos y manifestaciones que llegan a presentarse en la zona. En la figura 3.1 se muestra un croquis del lugar.

La exposición a estos niveles de acuerdo a algunas noticias que han salido por periódicos como La Jornada¹², ha afectado principalmente a los trabajadores de tierra, que tienen a su cargo atender, en las plataformas de estancia momentánea, a las aeronaves que llegan y salen continuamente en esas áreas.

A pesar de que estos trabajadores son dotados de equipos especiales siguen presentando daños al oído, muchas veces irreversibles, como lo señalan estudios de la Organización Internacional de Aviación civil, de la Organización Mundial para la Salud y del Instituto Mexicano de la Audición y el Lenguaje.

Por otra parte no sólo los trabajadores del AICM se ven afectados, también como se menciona anteriormente, las personas que habitan en las unidades habitacionales resultan afectadas. Debido a que el ruido generado por el aeropuerto y el de las vialidades que cruzan se acumula, lo cual ocasiona que los niveles sean sumamente altos, ocasionando problemas durante las mañanas y tardes a las personas que trabajan fuera de casa o se encuentran en las escuelas cercanas al lugar y por las noches a las personas que pretenden descansar.

¹² (Elizalde, 2006)

Los problemas pueden ir como ya se sabe desde la pérdida temporal o parcial de la audición hasta daños psicológicos y psíquicos. Estos daños con el paso del tiempo y combinados con una jornada muy acelerada de las personas pueden causar enfermedades cardiacas.

Es por ello que resulta importante estudiar las colonias que pueden ser más afectadas por los niveles más altos de ruido. De esta forma podemos determinar en qué colonia los habitantes están más expuesto a los peligros de los altos niveles de ruido.



Figura 3.1 Ubicación del AICM (Google Earth, 2013)

A continuación se da un listado de las colonias más cercanas al AICM:

- Cuchilla del tesoro
- El Arsenal cuarta sección
- El arenal tercera sección
- Ciudad Lago
- Ampliación Caracol
- Caracol
- Adolfo López Mateos
- Aviación Civil
- Federal
- Industrial Puerto Aéreo
- Moctezuma segunda sección

-
- Peñón de los Baños
 - San Juan de Aragón tercera sección
 - Cuatro Árboles
 - Pensador Mexicano

Como se mencionó alrededor del aeropuerto existen vialidades que a ciertas horas del día emiten grandes niveles de ruido. A continuación se nombran estas vialidades:

- Eje 1 norte
- Boulevard Puerto Aéreo
- Sonora
- Peñón Texcoco
- Vía Tapo Express
- Prolongación Río Churubusco
- Adolfo López Mateos
- Federal 211

4. METODOLOGÍA

Para poder definir una metodología para realizar un estudio de niveles de presión acústica, hay que tener un programa de mediciones acústicas, el cual permitirá tener mejores resultados durante la realización de las mediciones correspondientes y al final de éstas.

Es por ello que resulta importante tener claro para qué se están realizando las mediciones, ya que existen diversas finalidades, por decir algunas, pueden ser para conocer los niveles de ruido de la zona, promover programas de reducción de ruido, etc. Otro factor importante es identificar las fuentes de ruido que se desean estudiar, pues en un mismo entorno pueden existir diferentes fuentes que generen resultados alterados si no se desea incluir todas las fuentes en el estudio.

Por último, resulta importante saber si las emisiones de ruido son constantes o intermitentes, esto es porque con ello podemos determinar los periodos en los que los niveles de ruido son altos y bajos. Con ello se puede realizar una metodología correcta que dará resultados confiables.

4.1 Metodología para la obtención de los niveles de presión acústica

La metodología a emplear para la obtención de los niveles de presión acústica será la que se muestra a continuación:

1. Obtener información del lugar, con el fin de conocer la localización de las poblaciones cercanas.
2. Seleccionar el equipo adecuado para las mediciones de acuerdo a las necesidades
3. Detectar los obstáculos que puedan interferir en la realización de las mediciones o puedan ayudar a comprobar la eficiencia de éstos.
4. Escoger los puntos para el registro de datos acústicos. Éstos se deben seleccionar de forma estratégica en los lugares donde las poblaciones reciban un mayor impacto de ruido.
5. Determinar los tiempos y horas de medición, con el fin de obtener mediciones en el momento que se presentan los niveles máximos en el lugar.
6. Ir al sitio al realizar el estudio, sin olvidar calibrar y manejar de manera adecuada el equipo para obtener resultados convincentes y confiables.
7. Recopilar, clasificar e interpretar los datos obtenidos. Esto con el fin de poder realizar tablas, gráficas, etc.
8. Mostrar los resultados en un mapa de ruido de acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes puntos.

-
-
9. Comparar niveles acústicos obtenidos con los máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana.
 10. Hacer observaciones y comentarios acerca de los resultados obtenidos.

4.2 Instrumento de medición

En este trabajo lo que interesa principalmente es obtener los niveles de presión acústica del ruido generado por el aeropuerto y sus vialidades aledañas durante las horas pico. Este conjunto de sonidos generan niveles de ruidos demasiado altos que pueden traer consecuencias en la salud de los individuos del lugar.

Es por eso que se utilizará el equipo recomendado por la NOM-081-SEMARNAT-1994, el cual deberá cumplir con las siguientes características:

- Un sonómetro de precisión.
- Un calibrador piezoeléctrico o pistófono específico al sonómetro empleado.
- Equipo adicional que pueda ayudar a obtener mejores resultados en la medición del nivel acústico.

La emisión de ruido generada por las fuentes fijas es medida obteniendo su nivel acústico en ponderación “A”, expresado en dB (A).

Es importante mencionar que la NOM-081-SEMARNAT-1994, considera un sonómetro de precisión aquél que tienen las características mencionadas en las normas NMX-AA-59-1978 y NMX-AA-47-1977, las cuales son las siguientes:

1. Un sonómetro tiene que contar con los siguientes elementos:
 - Micrófono
 - Amplificador
 - Redes de ponderación
 - Atenuador
 - Instrumento indicador
2. El sonómetro debe abarcar un rango de frecuencias de 10 a 20,000 Hz
3. Debe incluir al menos unas de las redes de ponderación denominadas A, B y C
4. El fabricante deberá especificar la posición para realizar las lecturas
5. En caso de que sea necesario utilizar algún cable o extensión, estos deberán considerarse como parte del aparato.
6. El micrófono debe ser omnidireccional

-
7. La sensibilidad del micrófono no debe variar en más del ± 0.5 dB para una variación del $\pm 10\%$ de la presión estática.
 8. El instrumento indicador debe seguir la ley cuadrática.
 9. El fabricante debe especificar el ámbito de humedad en el que deberá operar el equipo.
 10. El sonómetro completo debe calibrarse dentro del ámbito de frecuencias de 31.5 a 8000 Hz.

4.3 Puntos de medición

El número de puntos de medición es importante, ya que con éste podremos obtener cuál es el nivel de ruido que se percibe en la zona de estudio. Es por ello que se deben elegir en las zonas donde se considere que el ruido llega con los mayores niveles a la población. Estas zonas son principalmente las que se encuentran en las colindancias con el aeropuerto.

Para establecer los puntos de medición primeramente hay que reconocer el lugar perfectamente bien para posteriormente poder recabar información técnica y administrativa y determinar las zonas críticas. La información a recabar es la siguiente:

1. Croquis del lugar donde se encuentre la fuente fija, en este caso el aeropuerto y sus vialidades aledañas, y la descripción de los predios que colinden.
2. Descripción de las actividades potencialmente ruidosas

Una vez localizadas las zonas críticas se ubicarán por lo menos cinco puntos de medición distribuidos muy cercanos a los límites del AICM y de las vialidades aledañas, posteriormente se tomarán datos a la altura de las primeras viviendas y por último se harán mediciones adentrándose un poco más a las calles con el fin de ver si aumentan o disminuyen los niveles, ya que se tiene presencia de tráfico de vehículos en el lugar.

4.4 Tiempos de medición

El tiempo de medición es importante considerarlo de tal forma que se pueda medir en el periodo donde existan niveles altos de ruido, ya que de esta forma obtendremos resultados con mayor precisión.

Es importante señalar que existen dos tipos de mediciones:

Las mediciones continuas: Son las que se realizan de un punto a otro de manera constante, es decir al terminar de medir en un punto inmediatamente se pasa al siguiente, y así sucesivamente. En todos los casos conservando un mismo intervalo de tiempo en la medición, por ejemplo pueden tomarse mediciones en un periodo de 5 minutos en cada punto.

Las mediciones discontinuas: Son las que se realizan en periodos cortos, comúnmente la duración de estos intervalos son segundos, donde se mide el nivel máximo repetidamente en un mismo punto. Esto se realiza en cada punto de medición sin importar si no es de manera continua de un punto a otro.

Para este trabajo realizaremos mediciones discontinuas, ya que se considera que el aeropuerto y sus alrededores son una fuente fija que siempre puede variar sus niveles de un momento a otro, pues hay momentos en los que llegarán más aviones que en otros. Además, el nivel de tráfico también presenta variaciones, por lo cual no se podrían tener resultados con un nivel de precisión aceptable si se hicieran mediciones de forma continua.

De acuerdo a la NOM-081-SEMARNAT-1994 las mediciones discontinuas se harán conforme a lo siguiente:

1. Se elegirá la zona y el horario crítico.
2. En la zona de emisión máxima se ubicarán puntos de manera aleatoria.
3. Debe colocarse el sonómetro o micrófono del sonómetro en cada punto de medición apuntando hacia la fuente y efectuar en cada punto no menos de 35 lecturas, procurando obtener cada 5 segundos el valor máximo observado.
4. Antes de cada medición debe registrarse la señal de calibración.
5. Se debe ajustar el sonómetro con el selector de escala A y con el selector de integración lenta.

4.5 Niveles de presión acústica

Realizadas las mediciones en cada punto deberán calcularse los niveles N_{50} , N_{10} y la desviación estándar, como se muestra a continuación:

El N_{50} puede considerarse como el nivel acústico que fue superado el 50% del tiempo de las mediciones. Se calcula mediante la siguiente ecuación (4.1):

$$N_{50} = \frac{\sum_i N_i}{n} \quad (4.1)$$

Donde

N_i es el nivel de observación i

n número de observaciones por punto de medición

La desviación estándar es la que nos indica qué tan dispersos están nuestras mediciones, y se calcula mediante la siguiente ecuación (4.2):

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(N_i - N_{50})^2}}{n-1} \quad (4.2)$$

Donde:

N_{50} es el nivel

N_i es el nivel de observación i

n número de observaciones por punto de medición

El N_{10} puede considerarse como el nivel acústico que fue superado el 10% del tiempo de las mediciones. Se calcula mediante la siguiente ecuación (4.3):

$$N_{10} = N_{50} + 1.2817\sigma \quad (4.3)$$

También debe calcularse el nivel equivalente para cada punto, que es valor al que podría equivaler todo el conjunto de mediciones, mediante la siguiente ecuación (4.4):

$$N_{eq} = 10 \log \frac{1}{m} \sum_m 10^{\frac{N}{10}} \quad (4.4)$$

Donde

m es el número total de observaciones

N es el nivel observado

De igual forma debe calcularse el promedio aritmético de los niveles N_{50} y N_{10}

4.6 Mapas de ruido

Este es uno de los puntos más importantes en el desarrollo de este trabajo, ya que aquí es donde se hará el procesamiento de todos los datos obtenidos durante el muestreo y el análisis. Esto es con el fin de obtener los mapas de curvas acústicas, lo cuales se generarán con un programa llamado Surfer.

Surfer es un programa de mapeo basado en rejillas que interpola datos de espacios irregulares XYZ a un espacio regular de rejillas. Las rejillas en ocasiones pueden ser más importantes que otros recursos, ya que con éstas se pueden producir diferentes tipos de mapas, por ejemplo: contornos,

vectores, imágenes, superficies 3D y marcos 3D. Estos mapas pueden mostrarse y mejorarse en surf, permitiendo producir mapas con la mejor representación posible de los datos. Además, pueden agregarse múltiples capas al mapa y texto para darle una mejor personalización.

Como se mencionó anteriormente este programa será muy útil para poder determinar el nivel acústico que puede presentarse en los alrededores de las zonas críticas. Esto se logra por medio de una interpolación que realiza el programa a partir de los puntos de medición. Además, este programa permite mostrar de manera gráfica la distribución de las curvas acústicas, incluyendo los diferentes puntos de medición que se realizaron y en los que se encuentran interpolados.

4.7 Trabajo de campo

Horario de medición

Los horarios de medición se tomarán de acuerdo a estudios que ha realizado el AICM previamente. Todos estos fueron realizados con el fin de saber si se cumplía con el número máximo de operaciones que se pueden ser atendidas por hora.

Anteriormente la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) y la Cámara Nacional de Aerotransportes (CANAERO) acordaron utilizar 58 slots por hora y cuatro millas náuticas de separación entre aeronaves en los horarios de mayor demanda.

Es importante mencionar que un slot es una autorización administrativa para la realización de una operación de llegada o salida, dentro de un periodo de tiempo determinado por el aeropuerto (una hora en el AICM). Este es autorizado por la oficina de coordinación de horarios.

Actualmente, después de tres meses de negociaciones, se permitirá realizar dicho número de operaciones comerciales en las horas pico, las cuales son entre las 6:00 a las 9:59 horas y entre las 16:00 y 17:59 horas, la próxima temporada invernal que va del 27 de octubre del 2013 al 6 abril del 2014. También se reducirá de siete a tres las operaciones realizadas por la Aviación Oficial en los mismos horarios.

De acuerdo a información que se obtuvo en la temporada invernal del 2012, en más de 53 ocasiones las operaciones en el espacio aéreo capitalino rebasaron el número máximo que puede ser atendido por hora, lo que llevó a la DGAC a emitir la declaración de saturación del AICM.

Además, para comprobar esta información se revisó en la página del AICM los horarios de los vuelos programados, durante una semana. De esta forma se pudo determinar de manera más precisa

en qué horarios se realizan regularmente el mayor número de vuelos, el cual es desde las 09:00 hasta las 11:00 horas.

De acuerdo con la información anterior se determina que el horario para realizar las mediciones correspondientes será en matutino entre las 8:00 y las 10:59 horas

Otros aspectos que también se consideraron fueron los siguientes:

- Por la mañana de 8:00 a 9:59 es cuando la mayoría de la gente que habita a la zona se desplaza a trabajar, a las escuelas o se encuentra en su lugar de trabajo y/o estudio.
- De igual forma en las mañanas el tráfico en las zonas habitacionales cercanas a vialidades tiene mayor carga vehicular que por las tardes entre las 16:00 y 17:30 horas donde disminuye considerablemente.

Distribución de los puntos de medición

Para seleccionar los puntos de distribución se escogieron principalmente las colonias más cercanas al aeropuerto, donde se pueden producir impactos en la población por los altos niveles de ruido. Las colonias elegidas bajo este criterio para el estudio son las siguientes:

1. Ampliación Caracol
2. Adolfo López Mateos
3. El arenal cuarta sección
4. Cuchilla del tesoro
5. Federal 211
6. Caracol
7. Moctezuma segunda sección
8. Peñón de los Baños

Una vez que se tienen presentes las colonias donde es posible tener altos niveles de ruido, se procede a realizar muestreos a los largo de las colindancias de estas colonias con el AICM y sus vialidades aledañas, tal como se indica en la NOM-SEMARNAT-081-1994.

Durante la realización de dichos muestreos se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 4.1:

Tabla 4.1 Nivel máximo registrado en cada Zona Crítica

Colonia	Nivel dB (A)
Adolfo López Mateos	70.8
Caracol	64.8
Ampliación Caracol	83
Arsenal Tercera Sección	85
Cuchilla del Tesoro	102.5
Peñón de los Baños	69
Moctezuma II	92.2
Federal 211	93.5

Una vez obtenidos los niveles de presión acústica, se procedió a seleccionar las zonas críticas. El criterio consistió en considerar primeramente las colonias con los niveles de ruido más elevados como son: Adolfo López Mateos, Ampliación Caracol, Arsenal Tercera Sección, Cuchilla del Tesoro, Peñón de los Baños, Moctezuma II y Federal 211. Posteriormente a las colonias Caracol y Peñón de los Baños que son las colonias menos afectadas por el ruido generado por el AICM y sus vialidades aledañas se les dió un número menor de mediciones, ya que a pesar de no ser consideradas zonas críticas, resulta conveniente hacer algunos muestreos para poder obtener un mapa más preciso.

De esta forma las zonas críticas y el número de mediciones en cada una de ellas se establecieron como se puede observar en la tabla 4.2:

Tabla 4.2 Número de mediciones a realizar en cada Zona Crítica

Colonia	Zona Crítica	Numero de mediciones
Adolfo López Mateos	ZC1	5
Caracol	NA	4
Ampliación Caracol	ZC2	6
Arsenal Tercera Sección	ZC3	6
Cuchilla del Tesoro	ZC4	7
Peñón de los Baños	NA	3
Moctezuma II	ZC5	5
Federal 211	ZC6	5

En la figura 4.1 se muestra de manera esquemática cuáles son las zonas críticas a estudiar:

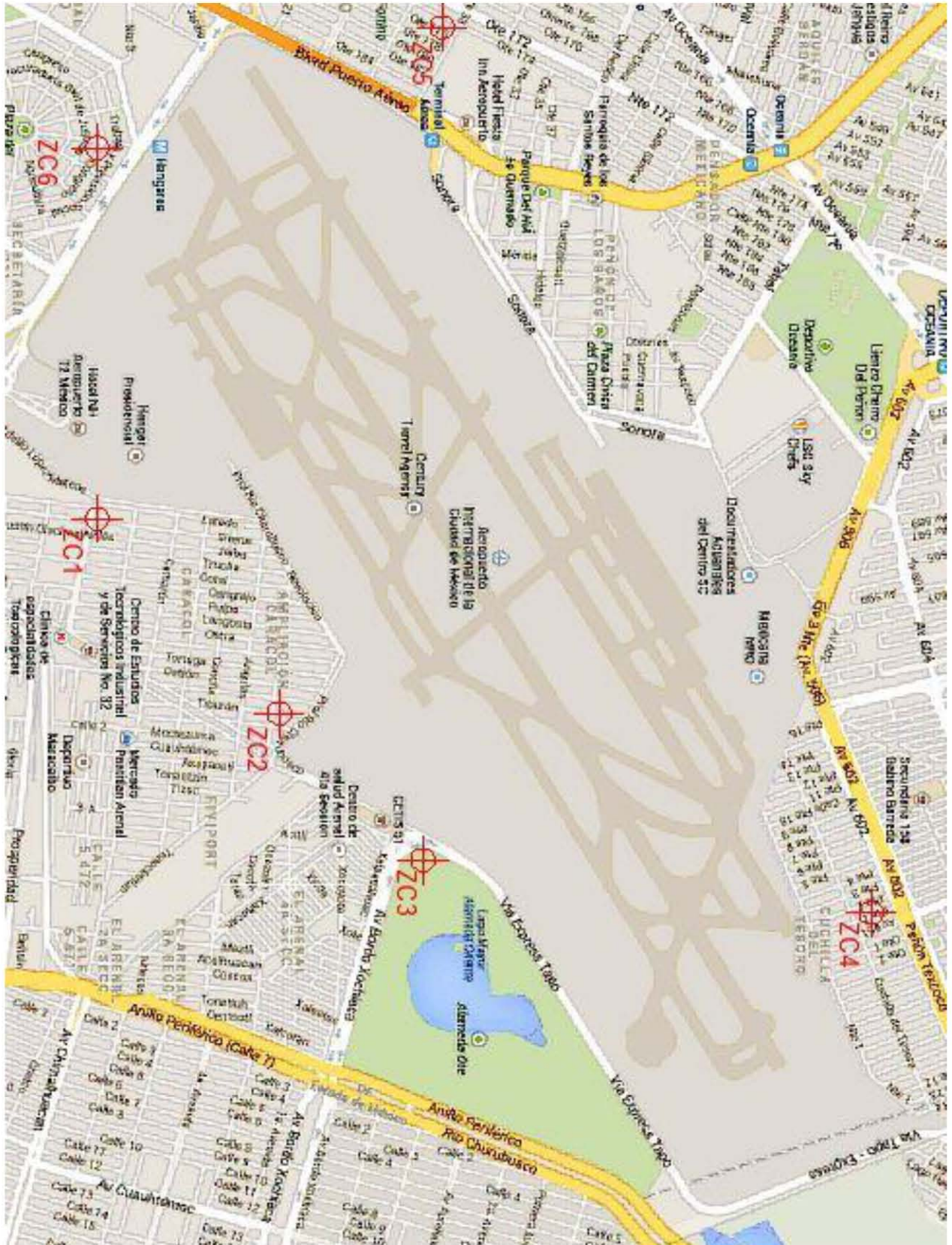


Figura 4.1 Localización de Zonas Críticas

Para determinar los puntos de medición de cada zona crítica se consideran las características físicas del sitio, puesto que en algunas partes no se tenía acceso para poder realizar mediciones. Tal es el caso de los que se encuentran próximos a las oficinas de Aeroméxico y/o la zona de aduanas, donde bien podría haberse colocado un punto de medición para seguir la secuencia, pero al no haber acceso, esto no fue posible. Lo anterior no resulta un factor que afecte al momento de obtener los mapas acústicos, pues no se trata de un sitio donde exista un alto tráfico vehicular y de aviones.

Otro punto fundamental para ubicar los puntos de muestreo fue el que algunas zonas se encontraban completamente rodeadas por vialidades de alta velocidad, por lo cual resultaba muy riesgoso y en algunos casos no era posible llegar a los sitios. Para solucionar este problema, se seleccionó el lugar más próximo a estos puntos en caso de que fuera necesario tener mediciones en el sitio.

En las figuras 4.2 a 4.9 se detallan los puntos de medición por cada zona crítica y colonia, con el fin de mostrar la distribución espacial de estos puntos, los cuales nos ayudarán a obtener los niveles acústicos de la zona.



Figura. 4.2 Zona Crítica 1 (ZC1). Adolfo López Mateos



Figura. 4.3 Puntos de medición en Caracol



Figura 4.4 Zona Crítica 2 (ZC2). Ampliación Caracol

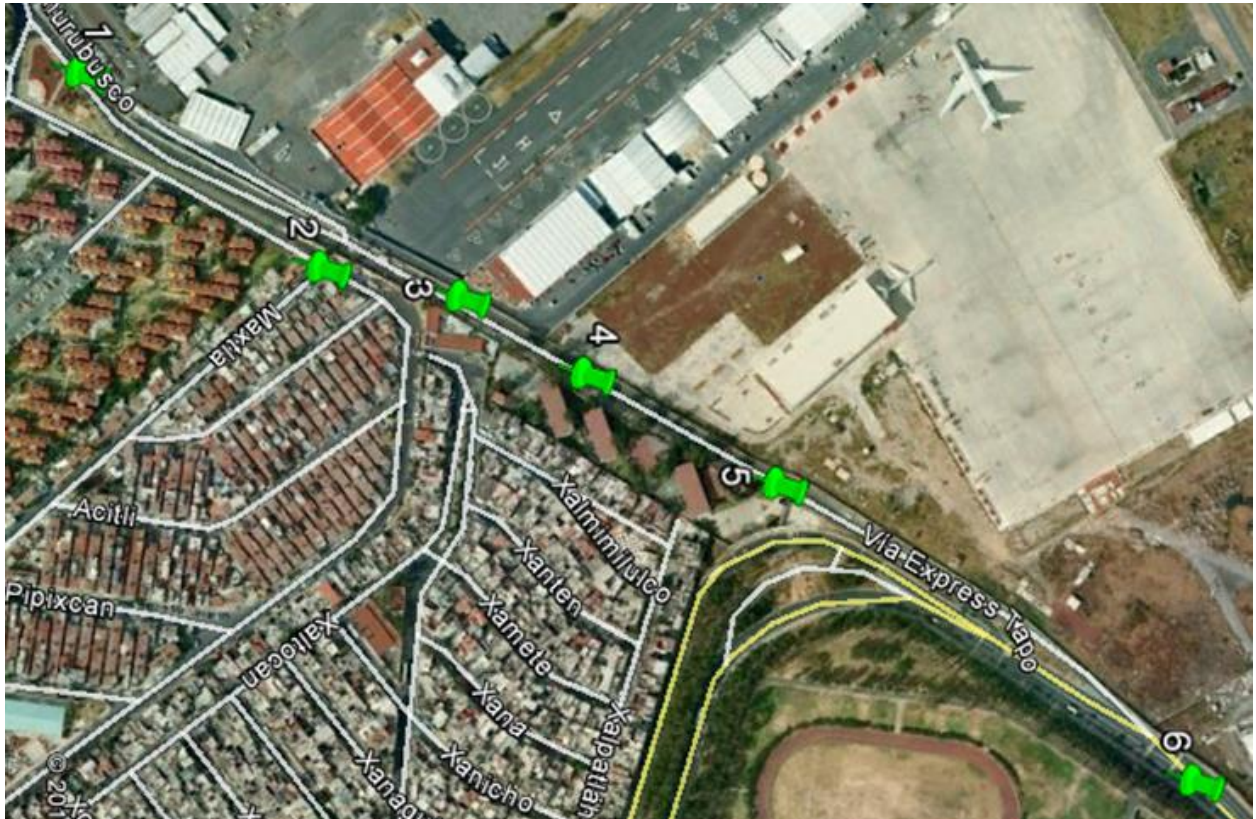


Figura 4.5 Zona crítica 3 (ZC3). El Arsenal cuarta sección

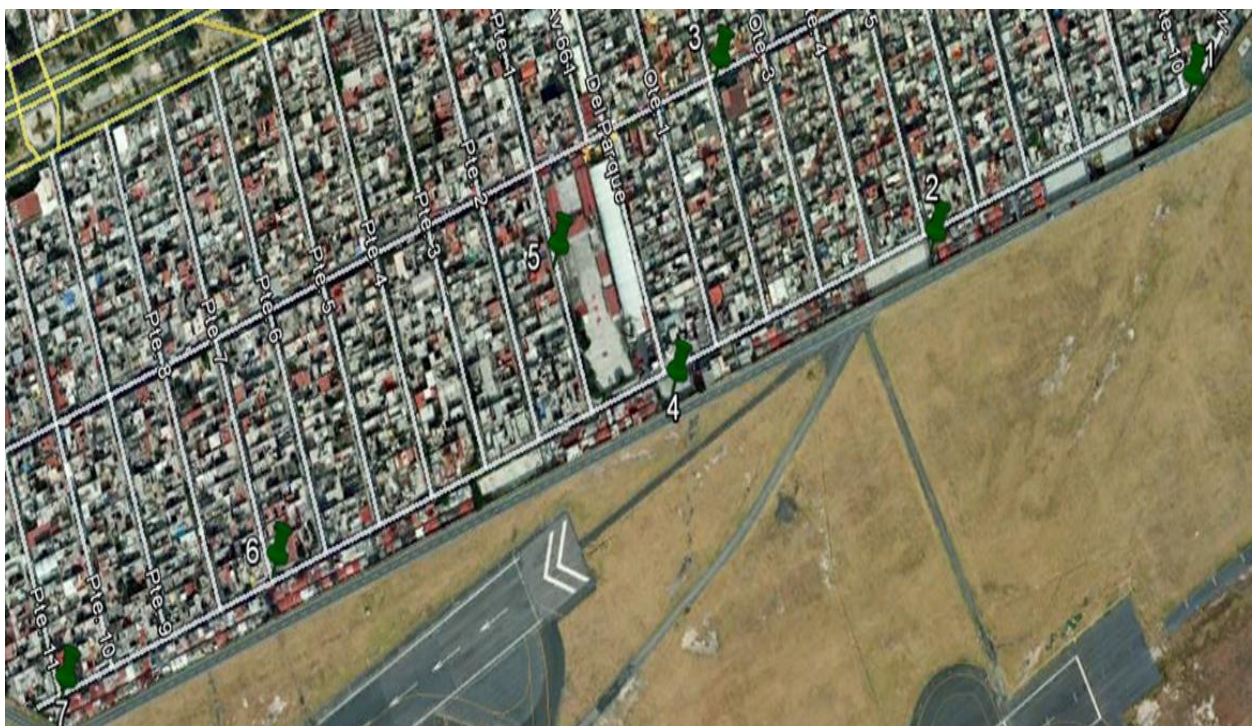


Figura 4.6 Zona Crítica 4 (ZC4). Cuchilla del Tesoro



Figura 4.7 Puntos de medición en Peñón de los Baños

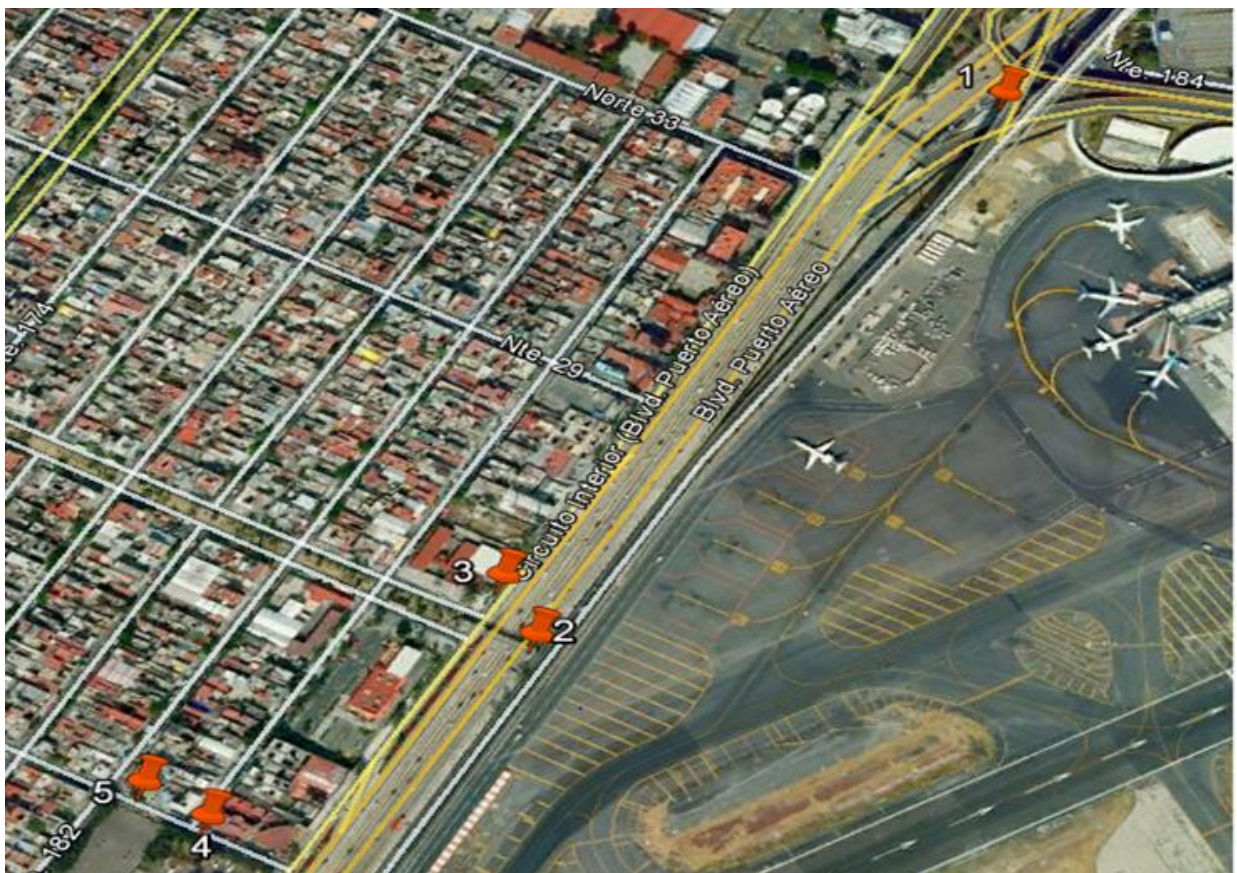


Figura 4.8 Zona Crítica 5 (ZC5). Moctezuma Segunda sección



Figura 4.9 Zona Crítica 6 (ZC6). Federal 211

Instrumentación

El equipo a utilizar para este trabajo será:

- Un sonómetro universal UEI DSM100 (ver fig. 4.10).
- Un Flexómetro
- Un tripié
- Un sistema electrónico con GPS

El sonómetro universal UEI DSM100 tiene las características mostradas en la tabla 4.3:

Tabla 4.3 Características del sonómetro UEI DSM100

Pantalla	LCD de 3- ½ dígitos
Rango de medición	A LO (ponderación baja) 35-100 dB A HI (ponderación alta) 65-130 dB C LO (ponderación baja) 35-100 dB C HI (ponderación alta) 65-130 dB
Estándares aplicables	De acuerdo a IEC651 tipo 2
Resolución	0.1 dB
Rango de frecuencia típico del instrumento	30 Hz – 12 KHz
Precisión	±2 dB en niveles acústicos de 94 dB
Rango dinámico	65 dB
Frecuencia de ponderación	A y C
Tiempo de ponderación	Lento y rápido
Micrófono	Tipo condensador Electret ½”
Calibración	Sistema de oscilación interna (1 kHz onda sinoidal general 94 dB)
Temperatura de operación y humedad	De 0 a 50 °C, Debajo de 80% RH
Fuente de poder	Batería de 9 V (006p 0 6F22)
Vida de batería	Aproximadamente 100 horas (alcalina)
Dimensiones	240 (L) x 68 (W) x 25 (H) mm
Peso	215 gramos

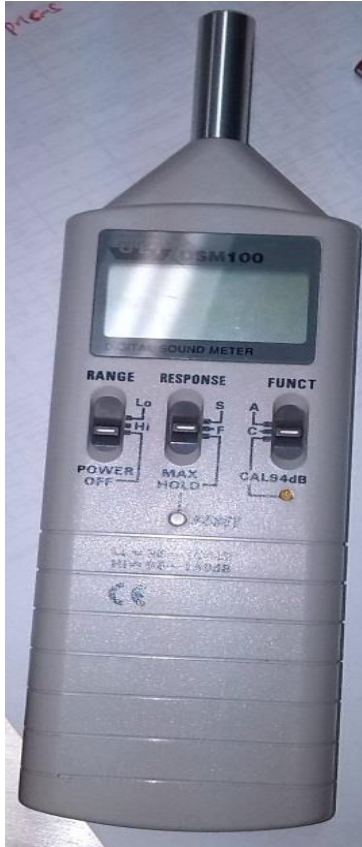


Figura 4.10 Sonómetro UEI DSM100

Cabe mencionar que antes de comenzar a utilizar el sonómetro se calibró, con el fin de que las mediciones fueran lo más precisas en la medida de lo posible. La calibración del sonómetro a utilizar (UEI DSM 100), se realiza de la siguiente manera:

1. La pastilla de función se desliza hacia abajo hasta la posición “Cal 94 dB”. Poner la pastilla de respuesta en la posición F y la pastilla de rango en la posición Hi.
2. Ajustar el control de calibración hasta obtener una lectura de 94 dB.

La calibración usa una señal senoidal de 1000 Hz generada por un oscilador empotrado.

Este procedimiento resulta ser muy sencillo, ya que toda la calibración resulta ser automática y no es como el método de otros calibradores, el cual consiste en utilizar un calibrador externo siguiendo los pasos que marque el fabricante de dicho calibrador.

Plan de trabajo

Con la información obtenida anteriormente (las zonas críticas, los puntos de muestro y los horarios de vuelos), se desarrolló un plan de trabajo como se muestra en la tabla 4.4:

Tabla 4.4 Plan de trabajo para la realizar mediciones.

Día	Horarios	Zonas Críticas/Colonia
18 de diciembre de 2013	De 8:00 a las 10:59 horas	ZC1, ZC2, Caracol, ZC3
19 de diciembre de 2013	De 9:00 a las 10:59 horas	ZC4, Peñón de los baños
20 de diciembre de 2013	De 9:00 a las 10:59 horas	ZC5, ZC6

Las primeras en medirse fueron las zonas críticas ZC1, ZC2, ZC3 y ZC4, ya que son las que tienen accesibilidad y proximidad adecuada, por lo cual era posible estar desplazando el equipo de medición constantemente de un punto a otro. Además, se le dio el mayor horario para realizar las mediciones, ya que fue la distancia donde más existió la necesidad de desplazarse. En los dos días posteriores se programaron dos colonias por día, porque había que desplazarse una distancia considerable de una zona a otra, por lo cual existían tiempos muertos durante este desplazamiento.

La selección de estos días se debe a que, como cada año, se espera un mayor número de vuelos en las fechas cercanas al 25 de diciembre, pues es cuando la mayoría de la gente por costumbre sale a otros estados o países para visitar a sus familiares y de igual forma mucha gente llega a la ciudad.

El número de vuelos durante estos días se muestra en las tablas 4.5, 4.6 y 4.7.:

Tabla 4.5 Número de vuelos el día 20 de Diciembre de 2013.

20 de Diciembre de 2013	
Llegadas Nacionales	74
Llegadas Internacionales	26
Salidas Nacionales	51
Salidas Internacionales	16
Total	167

Tabla 4.6. Número de vuelos el día 19 de Diciembre de 2013.

19 de Diciembre de 2013	
Llegadas Nacionales	67
Llegadas Internacionales	20
Salidas Nacionales	40
Salidas Internacionales	12
Total	139

Tabla 4.7 Número de vuelos el día 18 de Diciembre de 2013

18 de Diciembre de 2013	
Llegadas Nacionales	71
Llegadas Internacionales	12
Salidas Nacionales	67
Salidas Internacionales	24
Total	174

Muestreo en sitio

Para obtener en cada punto el nivel de ruido se utilizó el sonómetro descrito anteriormente (UEI DSM100), con el cual se realizaron 36 lecturas en intervalos de 5 segundos entre cada una de éstas, para un total de 3 minutos por punto de muestreo. Además, con la ayuda de un sistema GPS se ubicaron los puntos por medio de coordenadas UTM.

Es importante mencionar que durante el muestreo en cada uno de los puntos se utilizó un tripié (ver fig. 4. 11). Esto se realizó con el fin de tener un mejor manejo del sonómetro, ya que de esta forma era posible mantenerlo apuntando en todo momento hacia la fuente emisora. Además, al ponerlo sobre una base fija se facilita la recolección de datos y se obtienen muestras casi en las mismas condiciones. La altura que se le dio al sonómetro con el tripié fue de 1.5 metros sobre el nivel terreno.

Uno de los aspectos a considerar fue la localización de sitios donde fuera posible obtener muestras sin problemas, pues en algunos existían diversos inconvenientes (el terreno era bastante irregular en algunas zonas, existían calles donde el tráfico era constante, etc.). Es por esto que ciertos puntos se movieron algunos metros de la ubicación donde se tenían contemplados inicialmente. Cabe señalar que por lo anteriormente dicho, en algunos sitios no fue posible utilizar el tripié, por lo cual se trató de mantener el sonómetro a una altura de 1.5 metros y siempre apuntando hacia la fuente emisora.



Figura 4.11 Mediciones utilizando un tripié de apoyo

Es importante señalar que durante el muestreo se hizo lo posible por encontrar puntos lo más cercanos al aeropuerto (ver fig. 4.12), con el fin de tener muestras que nos permitieran distinguir de una manera más clara cuáles son las zonas afectadas principalmente por el aeropuerto.

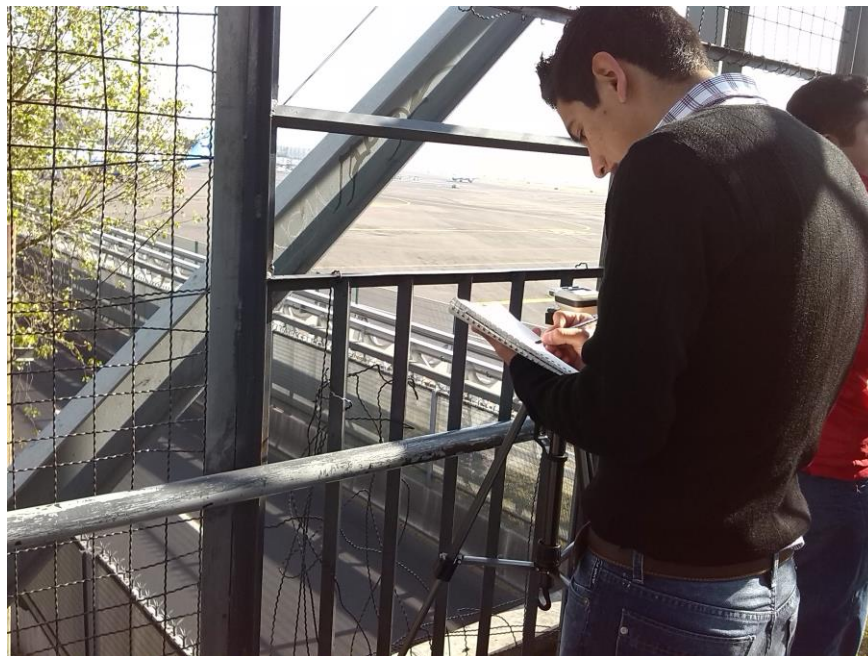


Figura 4.12 Mediciones en los alrededores del AICM

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la localización gráfica de los puntos de muestreo, se utilizó el programa Google Earth (ver fig. 5.1), con el fin de representar de una manera más general la distribución de los puntos alrededor del AICM tal y como se habló en el capítulo anterior.

Es importante señalar que al analizar la ubicación de los puntos de muestreo con los datos obtenidos del sistema GPS con ayuda del software Google Earth, se observó que algunos puntos no coincidían en un intervalo de ± 8 metros con el lugar exacto en el que se hicieron las mediciones. Esto no fue de gran importancia, pues con la ayuda del programa se localizaron los lugares de forma más precisa, obteniendo así las coordenadas adecuadas.

Posterior a la realización de mediciones, se comenzó el cálculo de los niveles que establece la NOM-081-SEMARNAT-1994, los cuales son: N_{10} , N_{50} , N_{eq} , N_{max} y N_{min} . Estos niveles fueron calculados para cada punto de muestreo (ver anexos). En la tabla 5.1 se muestran los niveles en dB (A) que se obtuvieron en cada punto con sus respectivas coordenadas UTM.

5.1 Mapas de ruido

Una vez determinados todos los niveles para cada punto de muestreo, se utilizó el programa Surfer 10 para la elaboración de los mapas de curvas de ruido. Para generar dichas curvas, se calcularon los niveles de ruido que podrían presentarse en los puntos restantes donde no se hicieron muestreos. Para esto se utilizó la interpolación Kriging, la cual es dada por el programa. Se utilizó esta interpolación, ya que maneja datos dispersos como los que se tiene en el estudio. Además, es una interpolación que se comporta de tal forma que mientras más cerca se esté de la fuente de emisión más elevados serán los niveles, y viceversa, mientras más alejado se está de la fuente, menores serán los niveles. Lo cual es muy aceptable, pues este es el comportamiento que tienen todas las ondas al propagarse, incluyendo al sonido.

Con ayuda del Programa Surfer 10 en cada mapa se dio una escala de colores con el fin de tener una mejor apreciación de la variación de los niveles de ruido en las diferentes curvas de sonido que se tienen en los alrededores del AICM.

Es importante mencionar que se hizo un mapa por cada nivel, esto con el fin de poder realizar un análisis de cada una de las situaciones que se tuvo en la zona de estudio. En las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran los mapas de ruido de los niveles N_{10} , N_{50} , $N_{máx}$, N_{min} y N_{eq} respectivamente (en dB (A)).

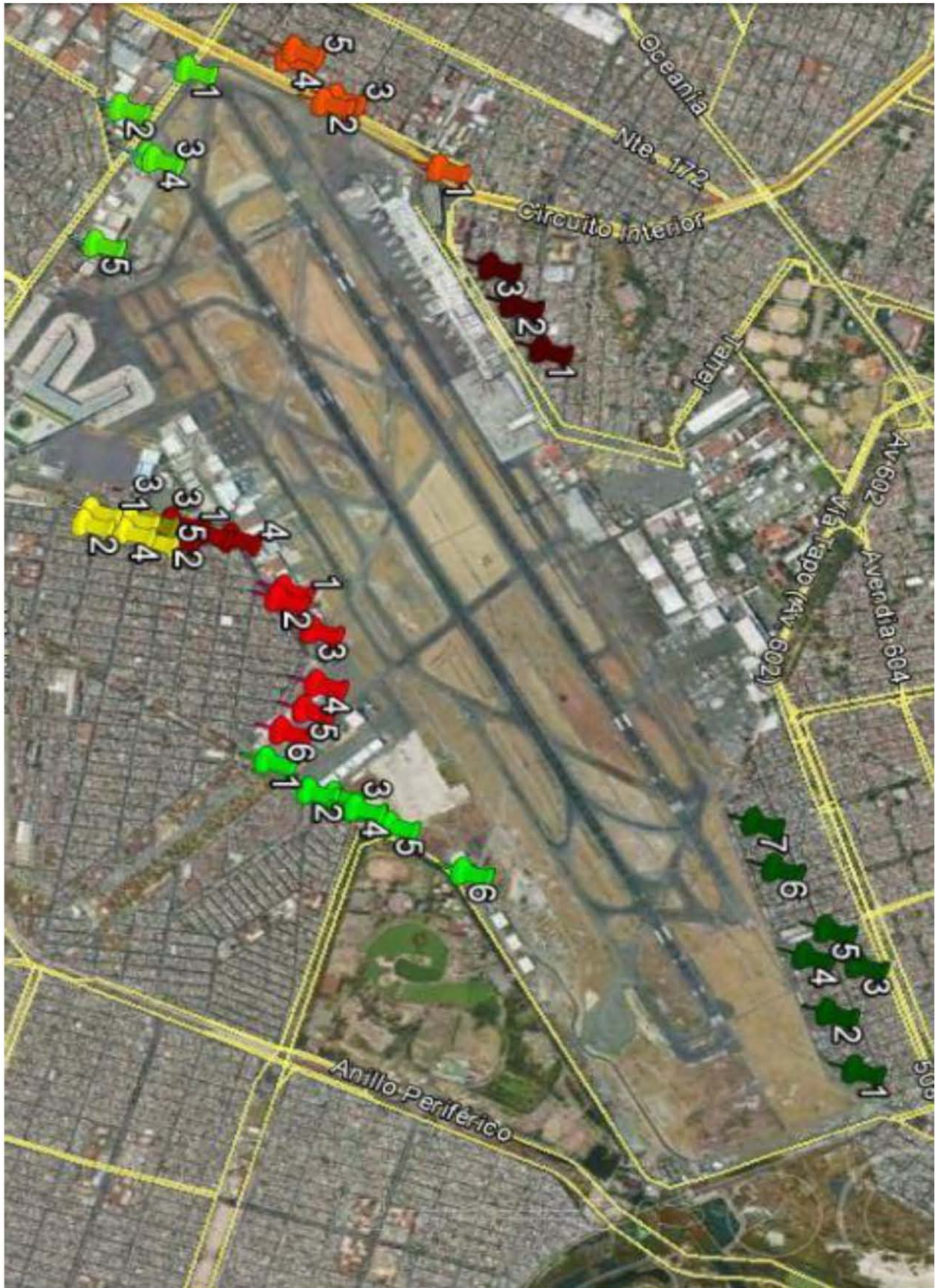


Figura 5.1 Puntos de medición (Google Earth, 2014)

Tabla 5.1 Niveles obtenidos de acuerdo a la NOM-081-SEMARNAT-2004

Coordenadas UTM		Neq	N50	N10	Nmax	Nmin
X	Y					
492220.9	2147586.3	67.2	66.1	66.7	73.2	61.3
492271.7	2147561.9	66.5	64.2	65.2	72.6	56.6
492248.1	2147726.7	73.3	66.0	67.6	84.4	53.3
492303.1	2147712.9	73.5	66.8	68.4	85.1	57.2
492333.2	2147798.9	62.7	59.5	60.6	71.9	52.8
492257.8	2147881.3	69.0	63.8	65.0	80.3	54.6
492322.5	2147874.7	64.6	60.6	61.6	77.2	52.5
492302.5	2147999.8	59.1	57.3	58.1	67.8	52.0
492318.0	2148103.8	59.0	55.7	56.8	67.0	47.7
492530.9	2148301.7	66.9	59.3	60.8	80.3	49.1
492567.5	2148280.8	60.3	57.8	58.7	69.0	52.8
492697.1	2148412.2	68.7	63.7	65.0	78.5	54.5
492921.1	2148434.3	74.8	67.4	69.3	84.8	54.0
493029.6	2148390.0	73.2	66.9	68.6	81.5	51.2
493120.5	2148308.8	79.1	71.0	72.2	92.9	66.9
493244.7	2148255.3	72.5	66.9	68.1	85.7	56.7
493369.0	2148415.6	65.1	61.0	62.2	75.8	53.1
493386.2	2148507.2	81.0	70.7	72.5	91.1	61.7
493434.9	2148589.6	79.1	70.4	71.8	91.5	62.3
493504.1	2148716.9	73.7	69.8	70.9	84.7	62.6
493693.2	2148992.8	76.9	74.3	75.4	83.4	66.9
494499.9	2150475.2	74.6	55.9	58.4	88.1	44.0
494260.2	2150370.2	75.3	61.6	64.0	87.4	47.3
494057.3	2150475.4	70.7	64.6	66.0	82.1	54.6
494022.2	2150276.3	79.3	62.3	64.6	92.7	52.6
493910.3	2150353.8	78.1	55.6	58.2	92.6	44.8
493655.7	2150152.8	74.7	61.3	63.2	89.0	50.1
493464.1	2150071.7	83.2	71.3	73.9	94.9	50.0
491504.4	2149235.6	72.1	70.4	71.2	77.9	60.9
491319.2	2149121.9	64.9	61.6	63.1	71.6	55.4
491163.9	2149037.3	70.1	66.9	68.0	79.1	58.7
490757.0	2148837.4	80.2	78.5	79.2	89.2	70.0
490494.4	2148404.1	81.5	80.0	80.7	90.9	77.1
490473.4	2148448.4	81.3	79.3	80.2	89.1	70.1
490316.3	2148265.9	76.6	66.3	67.6	91.3	58.2
490279.1	2148289.9	70.0	61.3	62.9	80.6	51.7
490371.6	2147895.1	72.9	70.2	71.0	82.5	62.3
490539.7	2147654.3	63.5	57.6	58.9	75.9	42.1
490735.5	2147756.6	74.6	72.9	73.6	84.1	69.4
490749.5	2147782.4	85.3	80.5	81.5	98.3	73.4
491109.8	2147575.8	83.3	78.3	79.3	96.8	69.9

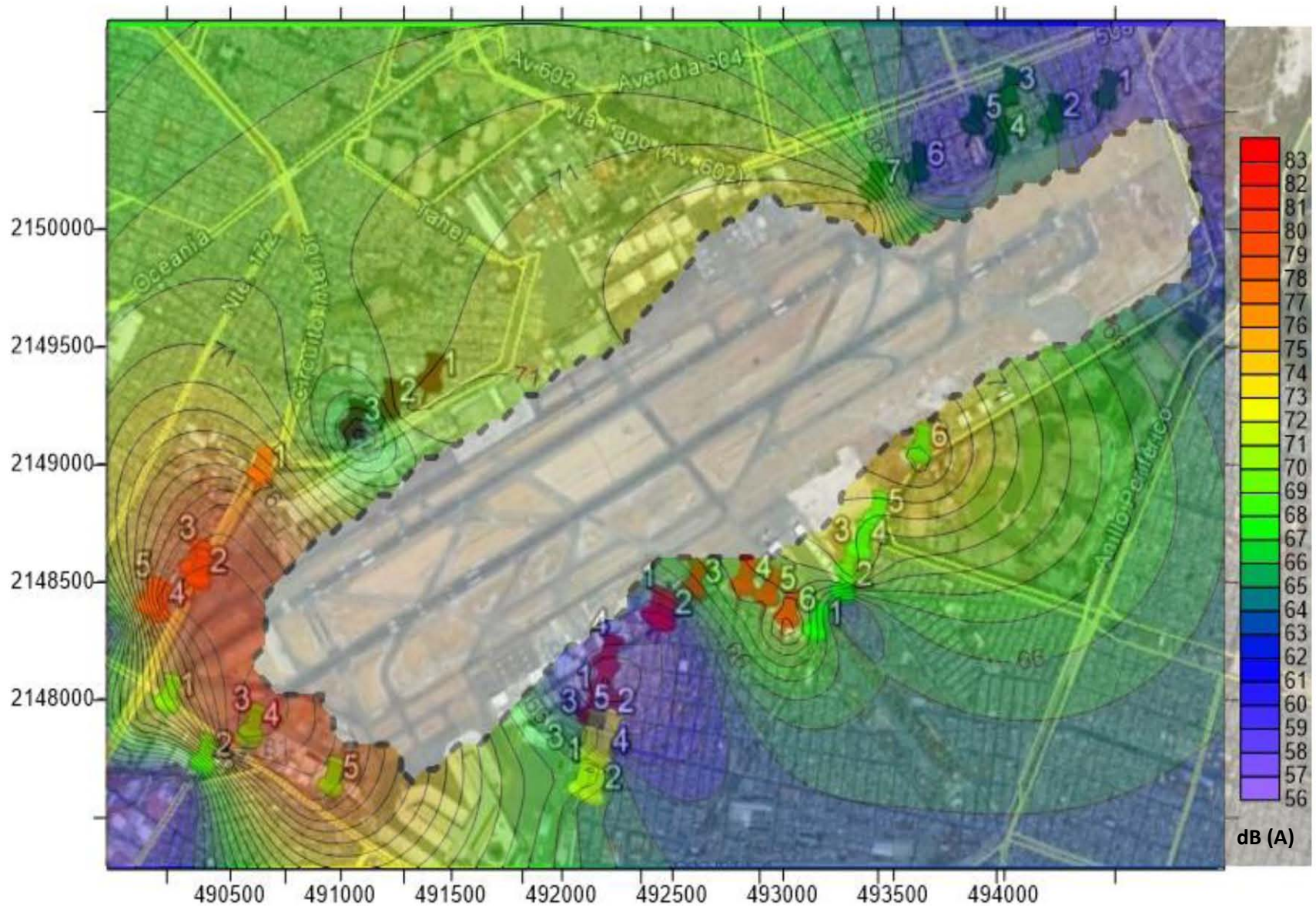


Figura 5.2 Mapa de ruido del N₁₀ en los alrededores del AICM

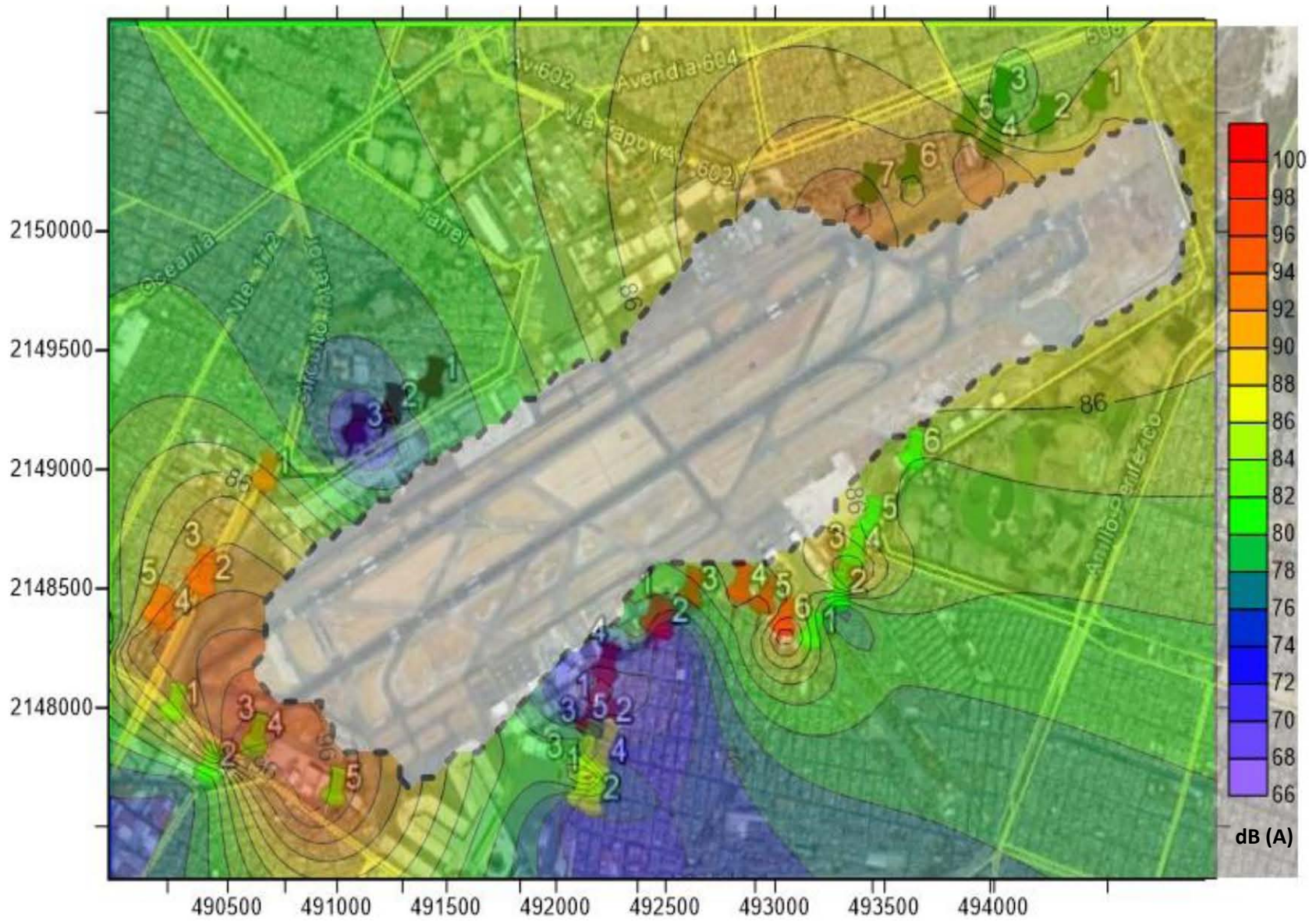
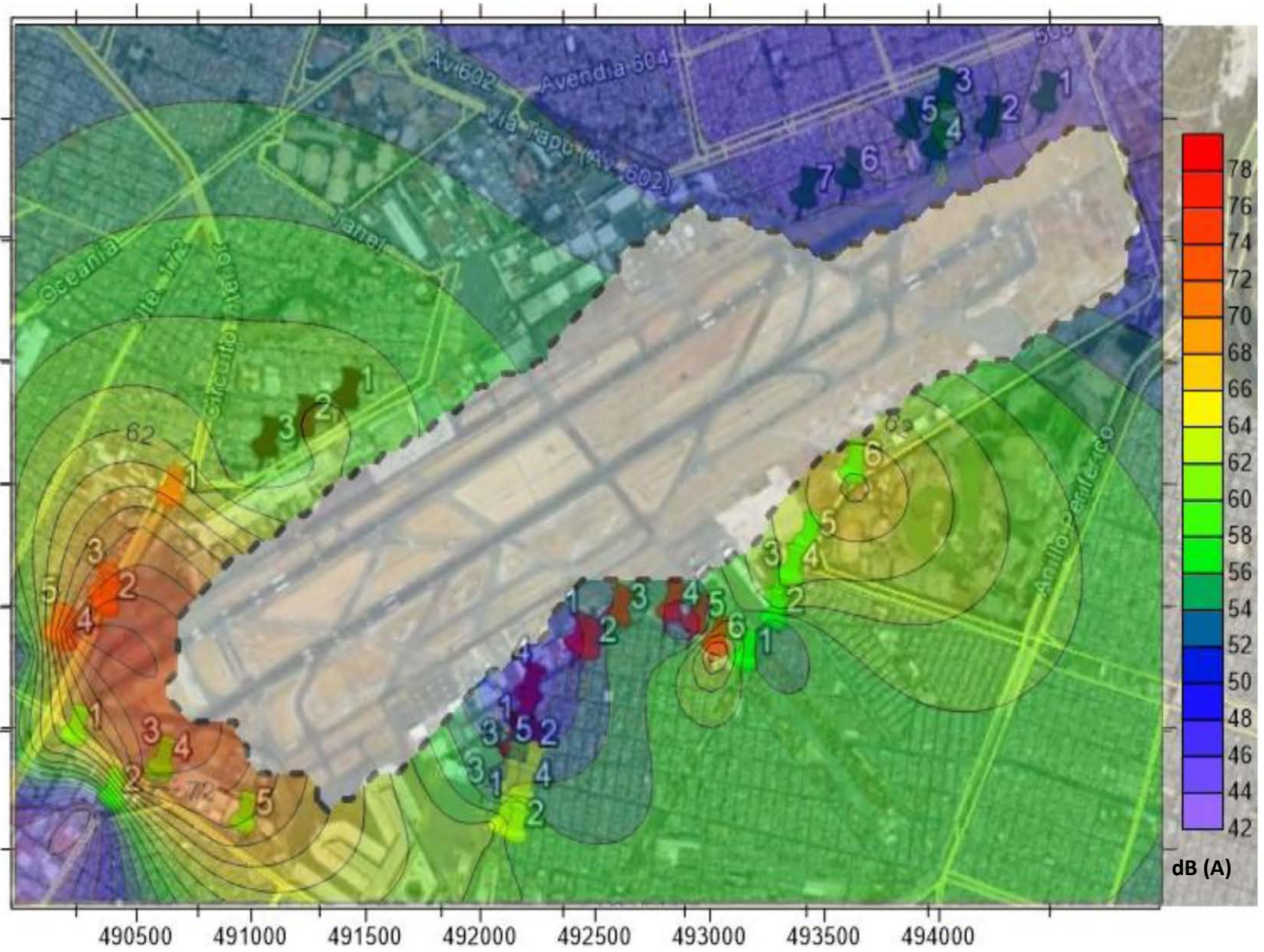


Figura 5.4 Mapa de ruido de N_{max} en los alrededores del AICM

Figura 5.5 Mapa de ruido del N_{min} en los alrededores del AICM

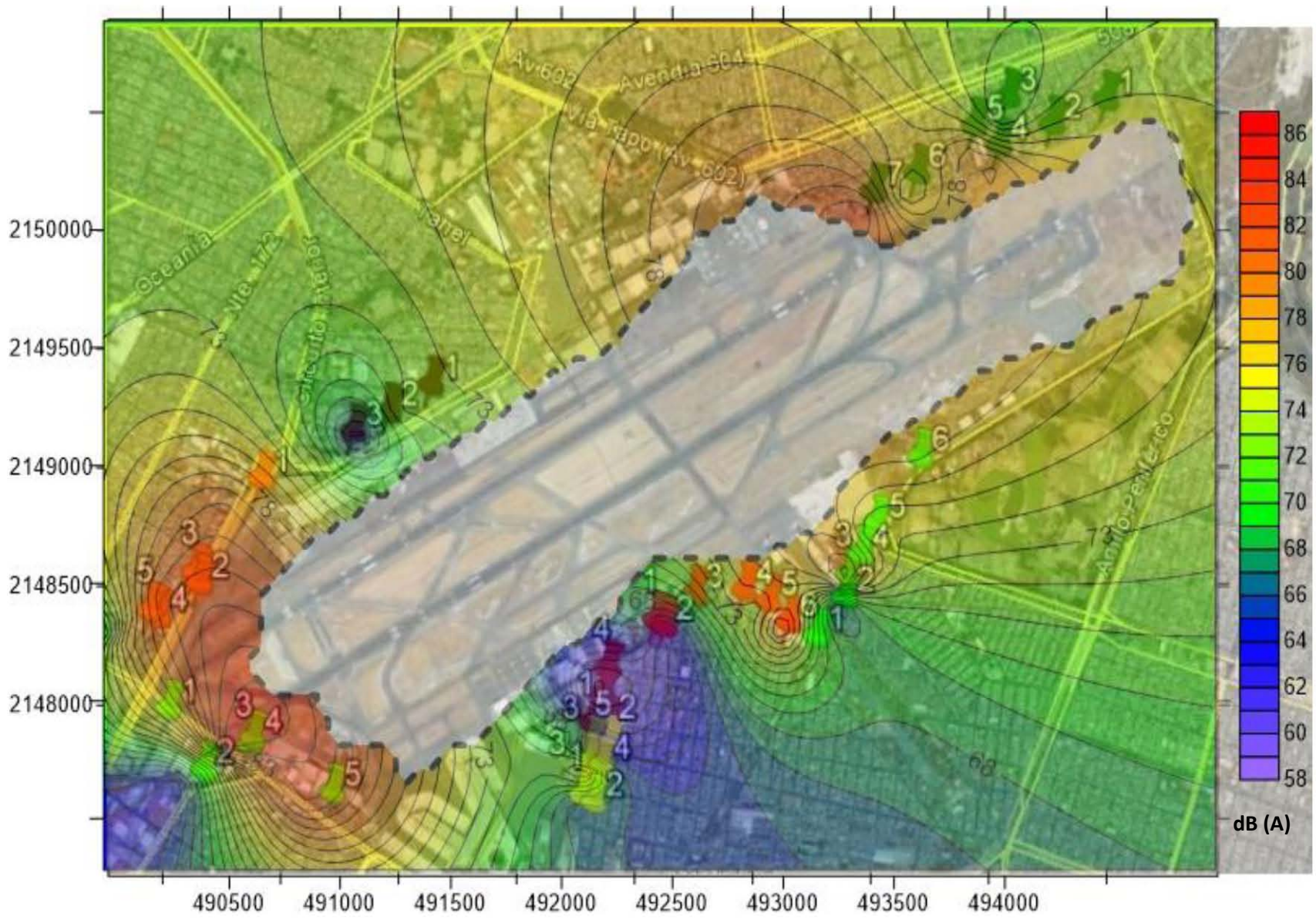


Figura 5.6 Mapa de ruido del N_{eq} en los alrededores del AICM

Como se puede observar en el mapa de ruido que corresponde al N_{10} (fig. 5.2), el rango de los niveles se encuentra entre los 56 y 83 dB (A). Este mapa muestra el valor del nivel que fue superado el 10 por ciento del tiempo en cada uno de los puntos. Se puede observar que la mayoría de estos valores se encuentra por debajo de los 72 dB (A), encontrándose principalmente entre los 66 y 71 dB (A), lo cual resulta desde cierto punto un poco alarmante, ya que son valores altos que en su mayoría están muy próximos o superando al límite que establece la norma (68 dB (A)). Afortunadamente como se dijo anteriormente se trata de valores que fueron superados el 10 por ciento del tiempo.

En el mapa de ruido que corresponde al N_{50} (ver fig. 5.3), el rango de niveles se encuentra entre los 55 y 82 dB (A). Esto quiere decir que en este mapa se muestra el nivel que fue superado el 50 por ciento del tiempo en cada uno de los puntos. La mayoría de estos niveles se encuentran entre los 66 y 72 dB (A). Estos no son resultados positivos, pues con esto se puede apreciar que el 50 por ciento del tiempo se estuvo por arriba de los 66 dB (A) estando la mayoría de las ocasiones por arriba de los valores permisibles por las normas.

A continuación se muestra en la tabla 5.2, tal y como se indica en la norma los promedios de los niveles N_{50} y N_{10} , los cuales son muy similares. Esto se debe a que el nivel N_{10} se obtiene a partir del nivel N_{50} más la desviación estándar multiplicada por un factor. De igual forma es por esta razón que los mapas de ruido son similares.

Tabla 5.2 Promedio de los niveles N_{50} y N_{10}

Nivel	dB (A)
N_{50}	66.2
N_{10}	67.6

En el mapa de ruido que corresponde al $N_{m\acute{a}x}$ (ver fig. 5.4), el rango de niveles se encuentra entre los 66 y 100 dB (A). Este mapa se muestra el nivel máximo alcanzado en el tiempo de medición en cada uno de los puntos. Estos valores resultantes de cierta forma preocupante, ya que los valores se encuentran en su mayoría entre los 76 y 86 dB (A) por arriba del nivel permisible por la norma (68 dB (A)). Y al tratarse de sonidos repentinos pueden ser tan molestos como los continuos.

El mapa de ruido que corresponde al $N_{m\acute{i}n}$ (ver fig. 5.5), el rango de niveles se encuentra entre los 42 y 78 dB (A). Cabe señalar que la mayoría de estos niveles se encuentran entre los 56 y 62 dB (A). El $N_{m\acute{i}n}$ se determina como referencia para poder ver como varían los valores, pero resulta

importante al hacer el análisis, ya que con éste podemos darnos cuenta que hay zonas muy afectadas con altos niveles.

Por último, se generó el mapa de ruido correspondiente al N_{eq} (ver fig. 5.6). Este es el mapa de ruido más importante, ya que nos indica el nivel de ruido global en cada uno de los puntos, porque integra todos los niveles medidos en el punto en una función logarítmica, lo cual nos permite tener un nivel que pueda representar el resto. También, es el nivel que se compara directamente con el nivel permisible que establecen las normas a considerar. El rango de niveles en este mapa se encuentra entre los 58 y 86 dB (A), encontrándose la mayoría de éstos entre los 70 y 76 dB (A). Esto hasta cierto punto es alarmante, pues se habla que la mayoría de los niveles se encuentra por encima de la norma y de los niveles permitidos por la OMS.

5.2 Comparación con las normas vigentes

A continuación en la tabla 5.3 se muestra cuáles son los puntos que cumplen con lo establecido por la NOM-081-SEMARNAT-1994, La OMS y la NADF-005-AMBT-2006. Además, en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 se muestra el porcentaje equivalente al número de puntos que no están cumpliendo con lo establecido por dichas normas. Cabe señalar que el nivel a comparar con el permisible por cada norma fue el N_{eq} , ya que es el nivel más representativo en las 36 mediciones hechas en cada punto.

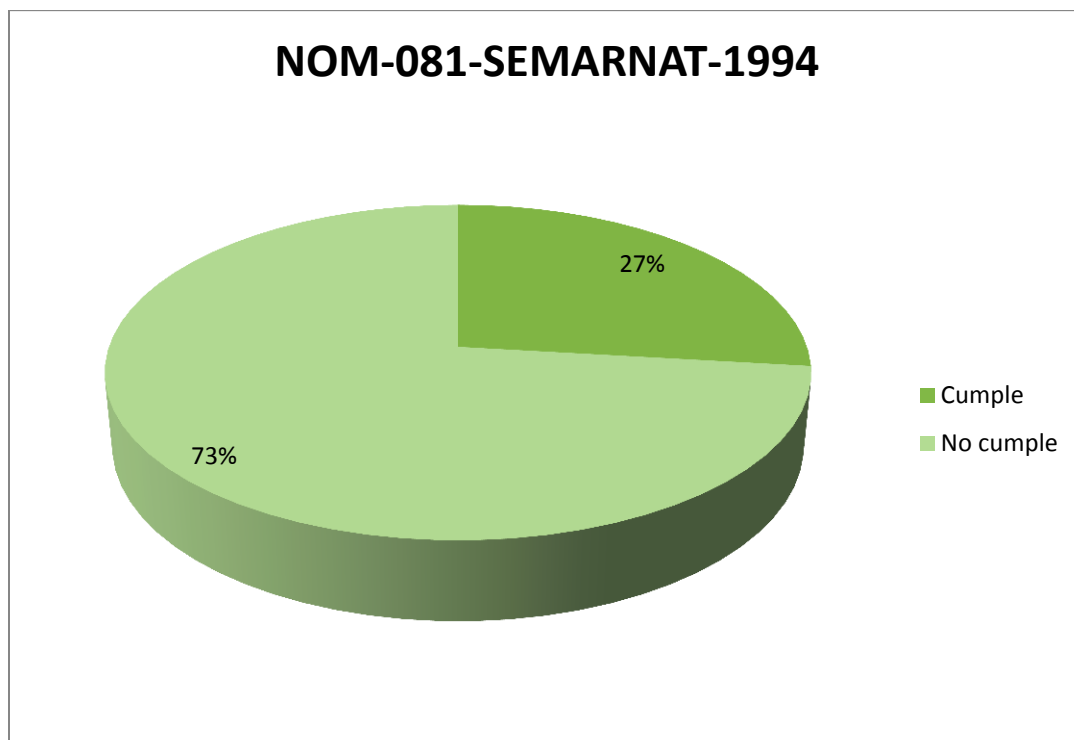


Figura 5.7 Porcentaje de puntos que cumplen y no cumplen con la NOM-081-SEMARNAT-1994

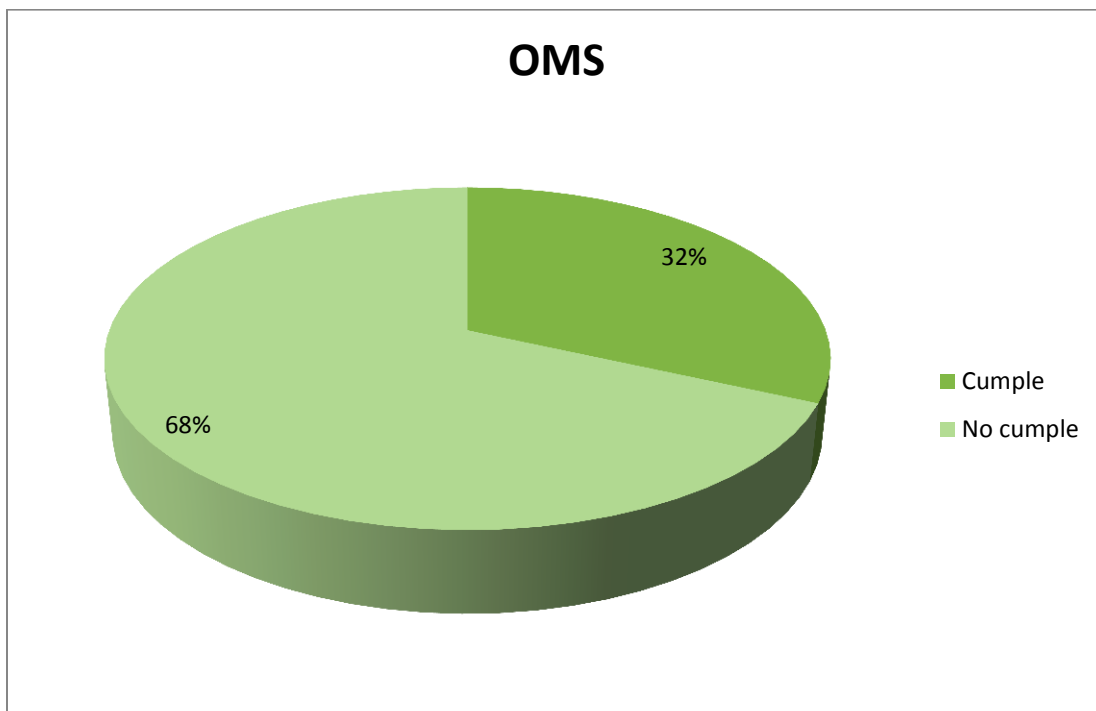


Figura 5.8 Porcentaje de puntos que cumplen y no cumplen con la OMS

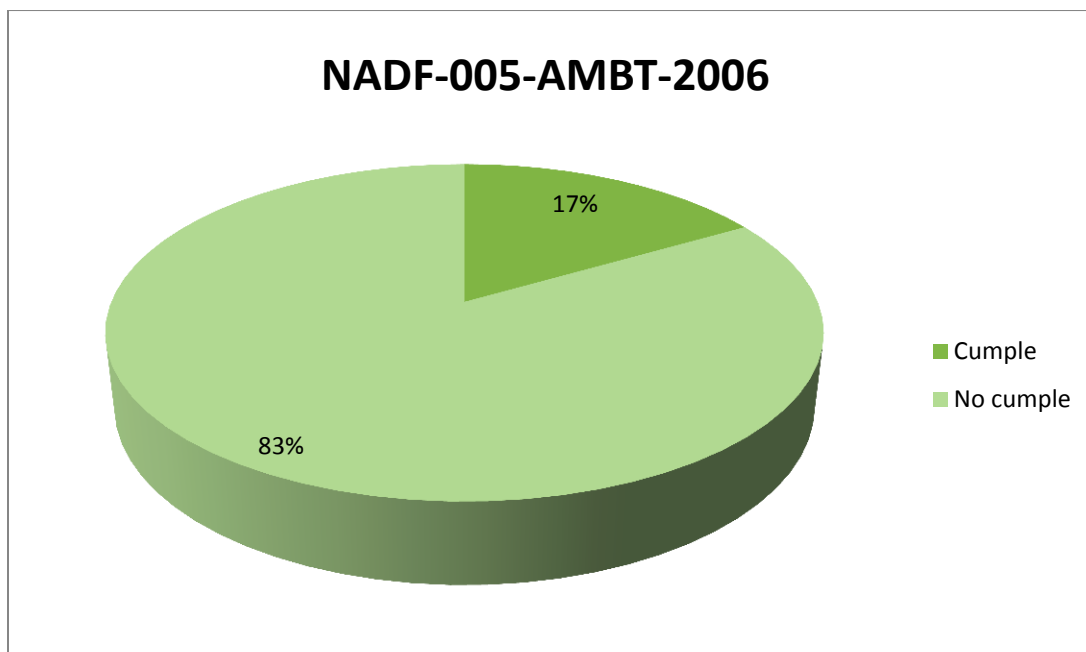


Figura 5.9. Porcentaje de puntos que cumplen y no cumplen con la NADF-005-2006

Tabla 5.3 Niveles N_{eq} que cumplen con las normas vigentes

Coordenadas UTM		Neq	NOM-081-	OMS	NADF-005- AMBT-2006
X	Y		SEMARNAT- 1994		
492220.9	2147586.3	67.2	✓	✓	✗
492271.7	2147561.9	66.5	✓	✓	✗
492248.1	2147726.7	73.3	✗	✗	✗
492303.1	2147712.9	73.5	✗	✗	✗
492333.2	2147798.9	62.7	✓	✓	✓
492257.8	2147881.3	69.0	✗	✓	✗
492322.5	2147874.7	64.6	✓	✓	✓
492302.5	2147999.8	59.1	✓	✓	✓
492318.0	2148103.8	59.0	✓	✓	✓
492530.9	2148301.7	66.9	✓	✓	✗
492567.5	2148280.8	60.3	✓	✓	✓
492697.1	2148412.2	68.7	✗	✓	✗
492921.1	2148434.3	74.8	✗	✗	✗
493029.6	2148390.0	73.2	✗	✗	✗
493120.5	2148308.8	79.1	✗	✗	✗
493244.7	2148255.3	72.5	✗	✗	✗
493369.0	2148415.6	65.1	✓	✓	✗
493386.2	2148507.2	81.0	✗	✗	✗
493434.9	2148589.6	79.1	✗	✗	✗
493504.1	2148716.9	73.7	✗	✗	✗
493693.2	2148992.8	76.9	✗	✗	✗
494499.9	2150475.2	74.6	✗	✗	✗
494260.2	2150370.2	75.3	✗	✗	✗
494057.3	2150475.4	70.7	✗	✗	✗
494022.2	2150276.3	79.3	✗	✗	✗
493910.3	2150353.8	78.1	✗	✗	✗
493655.7	2150152.8	74.7	✗	✗	✗
493464.1	2150071.7	83.2	✗	✗	✗
491504.4	2149235.6	72.1	✗	✗	✗
491319.2	2149121.9	64.9	✓	✓	✓
491163.9	2149037.3	70.1	✗	✗	✗
490757.0	2148837.4	80.2	✗	✗	✗
490494.4	2148404.1	81.5	✗	✗	✗
490473.4	2148448.4	81.3	✗	✗	✗
490316.3	2148265.9	76.6	✗	✗	✗
490279.1	2148289.9	70.0	✗	✗	✗
490371.6	2147895.1	72.9	✗	✗	✗
490539.7	2147654.3	63.5	✓	✓	✓
490735.5	2147756.6	74.6	✗	✗	✗
490749.5	2147782.4	85.3	✗	✗	✗
491109.8	2147575.8	83.3	✗	✗	✗

En la tabla 5.4 se muestra el N_{eq} que corresponde a cada Zona Crítica, tal como se indica en la NOM-081-SEMARNAT-1994. Esta tabla permitirá ver de forma más general cómo es el nivel de ruido de zona, pues al tener el nivel equivalente de los niveles equivalentes de cada punto, se obtiene un nivel por zona.

Tabla 5.4 Niveles N_{eq} por Zona crítica

Zona Crítica/Colonia	Neq	NOM-081-SEMARNAT-	OMS	NADF-005-AMBT-2006
ZC1	70.4	✗	✗	✗
Caracol	64.9	✓	✓	✓
ZC2	73.9	✗	✗	✗
ZC3	77.0	✗	✗	✗
ZC4	78.2	✗	✗	✗
Peñón	69.3	✗	✓	✗
ZC5	79.4	✗	✗	✗
ZC6	80.8	✗	✗	✗

Como se muestra en la tabla 5.4, los valores equivalentes en cada zona crítica superan a los límites permisibles dados por la NOM-081-SEMARNAT-1994, OMS y la NADF-005-AMBT-2006, a excepción de la colonia Caracol donde se cumple con las tres normatividades casi al límite de los valores que se establecen y la colonia Peñón donde se cumple con lo establecido con la OMS.

6. PROPUESTA DE BARRERA ACÚSTICA

Como se mencionó en el capítulo 1, las barreras acústicas pueden ser una solución para controlar los niveles que llegan a los alrededores de la fuente que los origina. Esto es porque las ondas generadas por el sonido son desviadas y/o absorbidas por la barrera, y en ocasiones una menor cantidad de éstas son las que logran traspasar el obstáculo.

A continuación se propone una barrera acústica mediante una partición simple, la cual consiste en separar una sección de otra a través de un elemento constructivo.

Antes de comenzar la elegir el material más adecuado del cual estará constituido dicha barrera. Hay que considerar las siguientes condiciones:

- El nivel que se desea reducir es el $N_{eq} = 81.5$ dB (A), ya que es el nivel que se registra en el punto 2 de la ZC5 (ver anexo). Además, de ser el punto más cercano al AICM y el que tiene el nivel equivalente más elevado de la ZC5.
- Para cumplir con el nivel permisible (68 dB (A)), establecido por la NOM-081-SEMARNAT-1994 se deberán reducir por lo menos 13.5 dB y para cumplir por lo establecido con la NADF-005-AMBT-2006 (65 dB (A)), que es la norma con el mayor limite, se tendrá que reducir por lo menos 16.5 dB (A).

Se propondrá el diseño de una barrera acústica de un muro de concreto reforzado de 10 cm de espesor (ver fig. 6.1), el cual tiene una peso específico de 2400 kg/m^3 , dando así una densidad superficial de 240 kg/m^2 . Se considera un muro de concreto reforzado, ya que al tratarse de un elemento de densidad alta el índice de reducción será mayor.

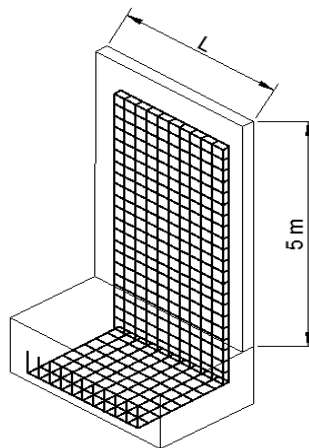


Figura 6.1 Corte de propuesta de diseño de barrera acústica

El aislamiento acústico de dicha barrera se obtendrá bajo la teoría de las barreras simples, la cual menciona que el aislamiento acústico se determinará mediante ensayos de laboratorio, no obstante, y en ausencia de ensayos, puede decirse, que el aislamiento acústico proporcionado por elementos uniformes, es función casi exclusiva de su masa siendo aplicable la siguiente ecuación (6.1) para elementos con densidad superficial mayor a 200 kg/m²:

$$m > 200 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad R = 23 \log (m) - 9 \quad (6.1)$$

Donde:

m es la densidad superficial del elemento, en kg

R es el índice de reducción acústica, en dB (A)

Sabiendo que la densidad superficial del elemento es de 240 kg/m², se tiene que el índice de reducción acústica es:

$$R = 23 \log (240) - 9 = 45.74 \text{ dB (A)}$$

Esto resulta aceptable, pues para cumplir con lo que establece la NADF-005-AMBT-2006, que es la norma más estricta, sólo era necesario reducir 16.5 dB (A) y ahora con el diseño de esta barrera se reducirán 45.74 dB (A). Obteniendo así un nivel después de la barrera de 35.76 dB (A), reduciendo así el ruido ocasionado por los aviones que comienzan su despegue en el AICM.

Por último, es importante mencionar que se dará al muro una altura de 5 m. Esto es, porque la mayoría de las casas son de un primer nivel, además, las turbinas de los aviones se encuentran alrededor de dos metros arriba del nivel de rodamiento, por lo cual de esta forma podría garantizar que el nivel de ruido sería de 35.76 dB (A) hasta una altura de 5 m.

7. CONCLUSIONES

Durante la elaboración del estudio se logró medir los niveles de presión acústica en los alrededores del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México por medio del criterio que establece la NOM-081-SEMARNAT-1984. Dicha norma estudia fuentes fijas de emisión de ruido, es por ello que se consideró al AICM y al ruido generado por diversas fuentes a sus alrededores como un conjunto.

Por medio de bibliografía diversa y artículos relacionados con el ruido se conocieron las consecuencias que pueden llegar a suscitarse por permanecer durante largos o cortos periodos expuestos al ruido. Estas consecuencias van desde la pérdida temporal de la audición hasta la pérdida total de la audición; así como el origen de problemas psicológicos.

Se determinó el horario de mayor emisión de ruido verificando en diversas fuentes, algunas de éstas del mismo AICM, que proporcionan información acerca de los horarios con mayor número de slots y la temporada con mayor número de vuelos; así como verificando los horarios con mayor número de vuelos que muestra la página oficial del AICM. También, se hicieron algunas visitas al lugar para observar cómo era el desplazamiento de las personas y del tráfico por las mañanas.

Por medio de un recorrido en los alrededores del AICM con el sonómetro programado para mantener la lectura máxima durante el recorrido, se obtuvieron las zonas con altos niveles de ruido que sobrepasan a los establecidos por las normas aplicables. Además, es importante señalar que para la elección de estas zonas se utilizó un criterio basado en la generalidad de los sonidos presentes, ya que en algunas zonas podría repentinamente pasar un automóvil generando un alto nivel de ruido, pero la mayoría del tiempo estas zonas se mantenían silenciosas, por lo cual no se podían considerar como zonas críticas. Otro caso es el de colonias donde la mayoría de las calles son cerradas, lo cual hace que los niveles de ruido sean bajos, pero de igual forma tenían algunas calles abiertas que ocasionaban que en estos puntos los niveles de ruido fueran altos, por lo cual se tomó un criterio similar.

Los puntos de muestro se ubicaron cerca de las viviendas en la mayoría de los casos. Esto se hizo con el fin de saber cuál es el nivel de ruido que percibe la población del lugar. Por otro lado, se buscó lugares donde se tuviera acceso, ya que en algunos no era posible por la falta de andadores y el frecuente tráfico de automóviles. Es importante mencionar que en algunas partes de los alrededores del AICM no se tenía acceso, por ejemplo, en la zona de aduanas y de oficinas de las diferentes empresas que operan en el lugar.

Con los resultados obtenidos en la etapa de campo y de acuerdo a las ecuaciones que establece la NOM-081-SEMARNAT-1984 se obtuvieron los niveles N_{10} , N_{50} , N_{eq} , N_{max} y N_{min} para cada punto, asimismo, se obtuvo el N_{eq} para cada zona crítica y el promedio de los niveles N_{10} y N_{50} , de acuerdo a lo que establece la norma.

Con los niveles que se obtuvieron N_{10} , N_{50} , N_{eq} , N_{max} y N_{min} se elaboró un mapa de ruido generado en los alrededores del AICM para cada uno de éstos. Estos mapas fueron generados con el programa Surfer. Observando el mapa de N_{eq} se puede determinarse lo siguiente: Las zonas más afectadas en los alrededores del AICM son las zonas críticas 5 y 6 llegando a tener niveles de hasta poco más de 85 dB (A). Las zonas menos afectadas serían las zonas críticas 1 y 2 teniendo niveles de poco más de 72 dB (A) en general. Las zonas críticas 3 y 4 son zonas muy variadas donde en ciertos puntos pueden llegarse niveles de alrededor de 80 dB (A) y en otros de 70 dB (A).

El nivel de presión equivalente de cada uno de los puntos y el de las zonas críticas, se comparó con cada uno de los límites permisibles que establece la norma, ya que es el nivel más representativo de las mediciones obtenidas. Obteniendo que el 73%, 68% y el 83% de los puntos no cumplen con lo establecido por la NOM-081-SEMARNAT-1994, la OMS y la NADF-005-AMBT-2006, respectivamente. Y en cuanto el nivel de presión equivalente de cada zona crítica, ninguno cumple con el límite permisible establecido por cualquiera de estas tres normas.

Por último, se propuso una barrera acústica para la zona crítica 5, pues en este lugar es donde los aviones comienzan a despegar y podría ser útil la colocación de una barrera. El aislamiento acústico de dicha barrera, se determinó por medio del método de aislamiento acústico de barreras simples. De esta forma se obtuvo que colocando una barrera de concreto reforzado se pueden aislar 45.74 dB (A). Además, se propuso una altura de 5 m, ya que la mayoría de las viviendas del lugar son de un nivel (teniendo una altura de alrededor de 4-5 m), garantizando así la reducción de 45.74 dB (A) hasta esta altura.

Finalizando, se puede concluir que los niveles de ruido que se generan en la zona ocasionados por el AICM y las fuentes de sus alrededores (tráfico de vehículos principalmente), en su mayoría no cumplen por lo estipulado por las normas. Por lo tanto, resulta conveniente hallar soluciones, pues cerca de algunos puntos de medición se encontraban escuelas, parques, cedes del DIF, etc. Los cuales pueden resultar afectados con el rendimiento del personal del lugar; así como en la calidad de vida de las personas que viven en los alrededores.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*. (s.f.). Obtenido de <http://www.aicm.com.mx/>
- Ambiental, L. d. (s.f.).
- B., C. P. (Marzo 2009). Barreras acústicas en carreteras. *Ingenieros Acústicos IDIEM*, 54-57.
- Behar, A. (1994). *El ruido y su control* (Segunda ed.). México: Trillas.
- Burk, W. (1969). *Manual de medidas acústicas para el control de ruido*. Barcelona: Blume.
- Carlos Alberto Echeverri Londoño, A. E. (Enero-Junio de 2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. *Ingeniería Universidad de Medellín*, 8.
- Elizalde, T. (25 de Junio de 2006). Trabajadores de tierra del AICM, afectador por ruido. *La Jornada*, pág. 1.
- Francisco Otárola Merino, F. O. (2006). Ruido Laboral y su Impacto en la Salud. *Ciencia & Trabajo*, 5.
- Harris, C. M. (1995). *Manual de medidas acústicas y control de ruido* (Tercera ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- Huizar, J. (s.f.). Acústica en recintos.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental. (s.f.).
- Manual del Constructo CEMEX. (s.f.).
- Manuel, R. L. (1999). *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Madrid: Paraninfo.
- Manuel, R. L. (2000). *Ingeniería Acústica*. Madrid: Paraninfo.
- Meisser, M. (1973). *Acústica de los edificios*. Barcelona: Editores técnicos y asociados.
- Miranda, J. R. (2006). Ruido: Efectos de la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos. *Ciencia y Trabajo*, 4.
- NMX-AA-47-1977. (s.f.).
- NMX-AA-59-1978. (s.f.).
- NOM-081-SEMARNAT-1994. (s.f.).
- OMS. (Abril de 1999). Guías para el ruido urbano. Londre, Reino Unido.
- Organización Mundial de la Salud*. (s.f.). Obtenido de <http://www.who.int/about/es/>

Organization, T. W. (2012). Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise.

ruido, R. p. (s.f.).

Sáenz, A. L. (2004). X Jornadas de historia y filosofía de la Ingeniería, la Ciencia y la tecnología. *anales de mecánica y electricidad*, (pág. 7).

Salud, O. M. (1999). Guías para el ruido urbano.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT): NOM-036-SCT3-2000. (s.f.).

SEMARNAT. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales:
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-ruido.aspx>

Sexto, L. F. (s.f.). ¿Cómo elegir un sonómetro? *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*. La Habana, Cuba.

Suter, A. h. (s.f.). Ruido. *Enciclopedia de salud y en el trabajo*.

Wang, L. K. (2005). *Advanced air and noise pollution control* (Vol. 2). New Jersey: Humana Press.

ANEXOS

Puntos de Muestreo

Colonia	A.L.P				
Zona Critica	1		X	492220.88	
Punto	1		Y	2147586.3	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	63.5	19	95	66.5
2	10	64	20	100	67.2
3	15	67.1	21	105	73.2
4	20	64.4	22	110	66.5
5	25	72.2	23	115	71.5
6	30	64.3	24	120	70.7
7	35	69.2	25	125	65.2
8	40	68.5	26	130	63.9
9	45	67	27	135	61.3
10	50	62.5	28	140	65
11	55	65.2	29	145	69.4
12	60	64.6	30	150	64.6
13	65	64.5	31	155	64.6
14	70	62.7	32	160	66
15	75	63.4	33	165	61.9
16	80	66.2	34	170	64
17	85	68.4	35	175	63.2
18	90	71.5	36	180	64

Colonia	A.L.P				
Zona Critica	1		X	492271.74	
Punto	2		Y	2147561.86	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	66.5	19	95	69.5
2	10	63.9	20	100	62.2
3	15	62.9	21	105	68.6
4	20	62.5	22	110	62
5	25	62.6	23	115	72.6
6	30	58.6	24	120	59.1
7	35	72.3	25	125	60.6
8	40	60.5	26	130	58.7
9	45	72.1	27	135	71.3
10	50	66.3	28	140	67.5
11	55	67.4	29	145	62.5
12	60	66.9	30	150	70.2
13	65	65.7	31	155	66.9
14	70	60.2	32	160	68.2
15	75	61.8	33	165	61.4
16	80	56.6	34	170	60.3
17	85	65.7	35	175	57.9
18	90	61.8	36	180	59.1

Colonia	A.L.P				
Zona Critica	1		X	492248.12	
Punto	3		Y	2147726.68	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	59.4	19	95	76.1
2	10	57.4	20	100	78.9
3	15	53.3	21	105	64.5
4	20	56.6	22	110	60.3
5	25	60.1	23	115	60.4
6	30	60.5	24	120	66.8
7	35	68.9	25	125	65.7
8	40	67.2	26	130	59.5
9	45	69.2	27	135	57
10	50	65.8	28	140	56.8
11	55	69	29	145	60.6
12	60	63.4	30	150	67.3
13	65	65.1	31	155	71.5
14	70	68.8	32	160	65.8
15	75	83.4	33	165	64.2
16	80	72.9	34	170	62.4
17	85	69.8	35	175	69.2
18	90	72.8	36	180	84.4

Colonia	A.L.P				
Zona Critica	1		Latitud	492303.1	
Punto	4		Longitus	2147712.93	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	67.6	19	95	69.2
2	10	67.1	20	100	74.4
3	15	78.6	21	105	67.5
4	20	79.1	22	110	72.2
5	25	85.1	23	115	61.7
6	30	67	24	120	65.1
7	35	67.2	25	125	72.6
8	40	62.7	26	130	57.4
9	45	77.7	27	135	77.6
10	50	61.2	28	140	67.4
11	55	57.2	29	145	77.6
12	60	58.4	30	150	63.4
13	65	57.5	31	155	58.1
14	70	58.6	32	160	63
15	75	62.1	33	165	60.5
16	80	72.3	34	170	66.5
17	85	65.7	35	175	64
18	90	61.8	36	180	60

Colonia	A.L.P				
Zona Critica	1		X	492333.19	
Punto	5		Y	2147798.91	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	68.6	19	95	54.2
2	10	61.3	20	100	55
3	15	56.4	21	105	54.7
4	20	59.7	22	110	53.3
5	25	61.7	23	115	52.8
6	30	68.6	24	120	60.1
7	35	65.6	25	125	61.3
8	40	67.3	26	130	65.2
9	45	71.9	27	135	62.1
10	50	61.1	28	140	60.1
11	55	64.5	29	145	59.9
12	60	64.8	30	150	57.6
13	65	58	31	155	55.9
14	70	58.8	32	160	54.7
15	75	55.3	33	165	54
16	80	54.6	34	170	60.9
17	85	59.3	35	175	54.2
18	90	54.8	36	180	53.3

Colonia	Caracol				
Zona Critica	NA		X	492257.75	
Punto	1		Y	2147881.29	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	67.9	19	95	60.1
2	10	62.6	20	100	63.5
3	15	71.3	21	105	60.5
4	20	70.6	22	110	59
5	25	68.9	23	115	57.4
6	30	62.8	24	120	63.2
7	35	74.5	25	125	63.3
8	40	80.3	26	130	59.8
9	45	77.6	27	135	60.2
10	50	66.4	28	140	58.8
11	55	62.3	29	145	56.6
12	60	61.9	30	150	57.2
13	65	63.1	31	155	54.6
14	70	60.4	32	160	58
15	75	69.4	33	165	59.8
16	80	66.2	34	170	64
17	85	67.3	35	175	61.3
18	90	63.1	36	180	62

Colonia	Caracol				
Zona Critica	NA		X	492322.52	
Punto	2		Y	2147874.73	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	65.7	19	95	56.6
2	10	64.3	20	100	57.4
3	15	65.2	21	105	56.6
4	20	60.3	22	110	57.7
5	25	63.4	23	115	52.5
6	30	63.8	24	120	58.7
7	35	77.2	25	125	57.9
8	40	62.2	26	130	59.8
9	45	60.4	27	135	57.8
10	50	58	28	140	62.2
11	55	60	29	145	63.5
12	60	68	30	150	62
13	65	63.2	31	155	59
14	70	65.5	32	160	56.9
15	75	63.6	33	165	55.5
16	80	59.4	34	170	55.3
17	85	60.9	35	175	54.7
18	90	58.8	36	180	56.3

Colonia	Caracol				
Zona Critica	NA		X	492302.52	
Punto	3		Y	2147999.78	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	52	19	95	59.5
2	10	52.4	20	100	67.8
3	15	54.8	21	105	58.8
4	20	57.2	22	110	53.6
5	25	54.6	23	115	53.8
6	30	55.4	24	120	56.2
7	35	54.4	25	125	62
8	40	52.9	26	130	59.5
9	45	53.3	27	135	59
10	50	54.3	28	140	59.1
11	55	60.5	29	145	64.3
12	60	57.5	30	150	60.9
13	65	58.1	31	155	61.2
14	70	56.9	32	160	60
15	75	54.7	33	165	63.3
16	80	55	34	170	54.2
17	85	56.9	35	175	55.6
18	90	55.5	36	180	57.6

Colonia	Caracol				
Zona Critica	NA		X	492318	
Punto	4		Y	2148103.79	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	56.8	19	95	67
2	10	60.2	20	100	66.9
3	15	64	21	105	60.1
4	20	65.5	22	110	54.1
5	25	62.2	23	115	47.7
6	30	60.1	24	120	54.3
7	35	57.2	25	125	50.9
8	40	57.7	26	130	51
9	45	56.6	27	135	50.6
10	50	58.4	28	140	53.6
11	55	57.9	29	145	51.7
12	60	53.2	30	150	48.9
13	65	52.9	31	155	49.6
14	70	49.1	32	160	51.6
15	75	51.3	33	165	53.6
16	80	51.4	34	170	56.7
17	85	55.5	35	175	55.7
18	90	50.6	36	180	58.9

Colonia	A.C.				
Zona Critica	2		X	492530.87	
Punto	1		Y	2148301.66	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	80.3	19	95	53.1
2	10	52.2	20	100	51
3	15	50.3	21	105	50.9
4	20	53.8	22	110	49.8
5	25	58.2	23	115	49.1
6	30	64.6	24	120	57.4
7	35	60.2	25	125	67.7
8	40	65.5	26	130	57.3
9	45	72.8	27	135	53.7
10	50	68.8	28	140	51.9
11	55	66.7	29	145	55.2
12	60	67.7	30	150	60.8
13	65	59.6	31	155	54.8
14	70	65.3	32	160	59.7
15	75	59.7	33	165	63.3
16	80	63.9	34	170	54.3
17	85	59	35	175	56.7

Colonia	A.C				
Zona Critica	2		X	492567.5	
Punto	2		Y	2148280.84	
No. De lectura	Tiempo	L (dB)	No. De lectura	Tiempo	L (dB)
1	5	54.9	19	95	54.1
2	10	53.2	20	100	54.8
3	15	53.9	21	105	57
4	20	58.2	22	110	54.1
5	25	55.8	23	115	57.6
6	30	58	24	120	52.8
7	35	60.3	25	125	53.4
8	40	58.1	26	130	54.9
9	45	57.5	27	135	54.3
10	50	59.5	28	140	56.2
11	55	64.3	29	145	58.1
12	60	69	30	150	60.2
13	65	65	31	155	54.3
14	70	60.6	32	160	58.7
15	75	54.4	33	165	57.3
16	80	55.7	34	170	54.5
17	85	66	35	175	66.7
18	90	53.8	36	180	62.7

Colonia	A.C				
Zona Critica	2		X	492697.13	
Punto	3		Y	2148412.24	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	56.7	19	95	62
2	10	60.9	20	100	64
3	15	71.8	21	105	60.5
4	20	69.3	22	110	55.8
5	25	66.6	23	115	56.3
6	30	56.8	24	120	56.7
7	35	56.6	25	125	61.9
8	40	61.8	26	130	68.4
9	45	73.2	27	135	65.5
10	50	69.6	28	140	77
11	55	65.6	29	145	64.8
12	60	54.5	30	150	71.1
13	65	64	31	155	74.1
14	70	78.5	32	160	66.6
15	75	60	33	165	60.6
16	80	56.7	34	170	60
17	85	63.7	35	175	56.3
18	90	64.9	36	180	58.7

Colonia	AC				
Zona Critica	2		X	492921.09	
Punto	4		Y	2148434.28	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	72.3	19	95	63.3
2	10	69.5	20	100	54.4
3	15	69.3	21	105	59.1
4	20	73.8	22	110	72.3
5	25	74.9	23	115	68.4
6	30	56.3	24	120	62.8
7	35	61.2	25	125	58.3
8	40	71.4	26	130	62
9	45	71	27	135	77.3
10	50	79.8	28	140	66.1
11	55	81.2	29	145	69
12	60	74.4	30	150	60.3
13	65	57.2	31	155	82.8
14	70	59.2	32	160	84.8
15	75	65.5	33	165	79.7
16	80	65.1	34	170	69.5
17	85	56.2	35	175	59.1
18	90	54	36	180	66.5

Colonia	A.C.				
Zona Critica	2		X	493029.55	
Punto	5		Y	2148389.98	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	65.2	19	95	66.5
2	10	69.1	20	100	58
3	15	68	21	105	72
4	20	60.3	22	110	75.9
5	25	70.1	23	115	60.3
6	30	81	24	120	59.1
7	35	65.8	25	125	61.4
8	40	65.3	26	130	67.8
9	45	59.3	27	135	63
10	50	60	28	140	74.6
11	55	58.5	29	145	80
12	60	70.6	30	150	79.5
13	65	66.3	31	155	81.5
14	70	58.6	32	160	75.7
15	75	58.3	33	165	78
16	80	70.8	34	170	74.3
17	85	52.5	35	175	65.9
18	90	51.2	36	180	63.5

Colonia	A. C				
Zona Critica	2		X	493120.5	
Punto	6		Y	2148308.84	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	76.3	19	95	68.3
2	10	70.7	20	100	70.5
3	15	75.3	21	105	75.2
4	20	68.5	22	110	68
5	25	68.2	23	115	77.4
6	30	70.1	24	120	70.3
7	35	72.3	25	125	68.1
8	40	69	26	130	68.1
9	45	69	27	135	69.1
10	50	67.5	28	140	87.1
11	55	67	29	145	92.9
12	60	67.4	30	150	68.5
13	65	66.9	31	155	69.5
14	70	67.5	32	160	73.1
15	75	67.76	33	165	78.1
16	80	68.2	34	170	69.3
17	85	67.7	35	175	68.4
18	90	68	36	180	67.5

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493244.7	
Punto	1		Y	2148255.34	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.3	19	95	78.1
2	10	63.6	20	100	71.3
3	15	66.1	21	105	68.9
4	20	64.2	22	110	70.1
5	25	69.7	23	115	56.7
6	30	71.2	24	120	61.6
7	35	68	25	125	59
8	40	68.6	26	130	63.3
9	45	70.4	27	135	63.7
10	50	71.7	28	140	68.5
11	55	72.3	29	145	71.1
12	60	70.1	30	150	65.4
13	65	66.1	31	155	66.1
14	70	64.5	32	160	61.1
15	75	71.4	33	165	62.1
16	80	85.7	34	170	60.2
17	85	65.6	35	175	61.2
18	90	67.2	36	180	61.5

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493368.95	
Punto	2		Y	2148415.63	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	60.9	19	95	60.5
2	10	65.4	20	100	56.6
3	15	59.1	21	105	62.5
4	20	56.9	22	110	63.6
5	25	58.3	23	115	61.1
6	30	57.7	24	120	61.3
7	35	58.5	25	125	56.1
8	40	61.6	26	130	59.2
9	45	57.7	27	135	65.4
10	50	61.9	28	140	56.6
11	55	72.2	29	145	53.1
12	60	75.8	30	150	55.2
13	65	71.1	31	155	57.3
14	70	67	32	160	55.3
15	75	60.6	33	165	57.6
16	80	62.4	34	170	57
17	85	69.5	35	175	56.6
18	90	66.7	36	180	59

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493386.24	
Punto	3		Y	2148507.2	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	64.3	19	95	78.8
2	10	65.9	20	100	77.4
3	15	61.7	21	105	71.1
4	20	67.1	22	110	64.3
5	25	68.7	23	115	63.4
6	30	63.2	24	120	67.5
7	35	70	25	125	69.4
8	40	69.2	26	130	64.9
9	45	64.3	27	135	65.8
10	50	63.3	28	140	69.4
11	55	67.5	29	145	68.9
12	60	63.5	30	150	68.8
13	65	89	31	155	74.4
14	70	91.1	32	160	67
15	75	80.6	33	165	63.3
16	80	90.4	34	170	66.8
17	85	89	35	175	65.7
18	90	81.9	36	180	68.2

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493434.94	
Punto	4		Y	2148589.56	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	74.3	19	95	68.7
2	10	66.9	20	100	89.6
3	15	71.7	21	105	91.5
4	20	66.7	22	110	65.4
5	25	67.8	23	115	68.7
6	30	66.3	24	120	71.2
7	35	69.8	25	125	65.4
8	40	62.3	26	130	65.4
9	45	68.7	27	135	75.6
10	50	73.4	28	140	63.4
11	55	66.8	29	145	65.5
12	60	65.7	30	150	68.2
13	65	78.9	31	155	74.5
14	70	65.4	32	160	68.7
15	75	70.6	33	165	64.5
16	80	76.5	34	170	66.4
17	85	83.4	35	175	64.3
18	90	71.4	36	180	70.3

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493504.11	
Punto	5		Y	2148716.86	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	74.9	19	95	65.2
2	10	65.57	20	100	71.6
3	15	72.5	21	105	84.7
4	20	78.9	22	110	73.1
5	25	69.1	23	115	69
6	30	70.4	24	120	65.2
7	35	72.2	25	125	68.5
8	40	73.1	26	130	70.6
9	45	69.9	27	135	65.6
10	50	67	28	140	65.9
11	55	66.2	29	145	68.7
12	60	73.9	30	150	67.1
13	65	79.3	31	155	67.2
14	70	78.6	32	160	62.7
15	75	70.5	33	165	62.6
16	80	67.6	34	170	68.7
17	85	64.8	35	175	62.7
18	90	63.2	36	180	75.2

Colonia	Ars. 4 secc				
Zona Critica	3		X	493693.21	
Punto	6		Y	2148992.79	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	71	19	95	81.8
2	10	83.4	20	100	80.3
3	15	80.1	21	105	69.1
4	20	78.8	22	110	68.5
5	25	77.7	23	115	73.2
6	30	68.4	24	120	75.5
7	35	70.6	25	125	72.9
8	40	68	26	130	70.2
9	45	78	27	135	69
10	50	77.5	28	140	66.9
11	55	79.9	29	145	70.9
12	60	79	30	150	74.2
13	65	77.3	31	155	71.3
14	70	76.2	32	160	68
15	75	78.3	33	165	69.7
16	80	79.5	34	170	68.5
17	85	78.2	35	175	70
18	90	82.3	36	180	71

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	494499.86	
Punto	1		Y	2150475.2	

No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	47.7	19	95	60.6
2	10	45.6	20	100	49
3	15	46.3	21	105	47
4	20	56.7	22	110	44.4
5	25	55.6	23	115	45.2
6	30	59.9	24	120	48.8
7	35	56.1	25	125	50.1
8	40	47	26	130	53.3
9	45	44	27	135	88.1
10	50	45.2	28	140	75.3
11	55	45.5	29	145	62.8
12	60	47.2	30	150	59.3
13	65	82.5	31	155	54.2
14	70	81.8	32	160	53.7
15	75	71.8	33	165	54.2
16	80	56	34	170	52.2
17	85	51.1	35	175	51.6
18	90	55.8	36	180	66.6

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	494260.15	
Punto	2		Y	2150370.24	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	69.1	19	95	83.6
2	10	73	20	100	79.6
3	15	81.6	21	105	57.6
4	20	87.4	22	110	54.2
5	25	74.1	23	115	51.2
6	30	66.1	24	120	49.2
7	35	63.2	25	125	51.9
8	40	63.5	26	130	57.9
9	45	62.5	27	135	80.1
10	50	59	28	140	72.4
11	55	56.1	29	145	60
12	60	51.5	30	150	58.3
13	65	57.6	31	155	55.5
14	70	53.5	32	160	50.7
15	75	47.8	33	165	47.3
16	80	50.6	34	170	47.8
17	85	54.3	35	175	68.2
18	90	52.2	36	180	67.5

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	494057.25	
Punto	3		Y	2150475.42	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	60	19	95	62.2
2	10	65.2	20	100	63.7
3	15	82.1	21	105	55.2
4	20	73.3	22	110	55.2
5	25	65	23	115	55.1
6	30	60.3	24	120	54.6
7	35	68.7	25	125	68.2
8	40	66.5	26	130	64.7
9	45	60.5	27	135	69.3
10	50	61.3	28	140	76.4
11	55	64.3	29	145	67.9
12	60	64.1	30	150	71.1
13	65	55.3	31	155	72.6
14	70	63.8	32	160	66.1
15	75	60.6	33	165	61.5
16	80	62.3	34	170	66.1
17	85	59.1	35	175	79.3
18	90	57.1	36	180	66.3

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	494022.2	
Punto	4		Y	2150276.26	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	60.2	19	95	77.1
2	10	81.2	20	100	88.9
3	15	92.7	21	105	75.8
4	20	81.5	22	110	55.6
5	25	66.7	23	115	53
6	30	55.4	24	120	52.6
7	35	53.2	25	125	53.3
8	40	60.3	26	130	72.4
9	45	59.2	27	135	57.5
10	50	55.2	28	140	60.1
11	55	53.2	29	145	61.1
12	60	60.3	30	150	62.1
13	65	59.2	31	155	61.4
14	70	55.2	32	160	59
15	75	53.2	33	165	58.1
16	80	55.9	34	170	55.2
17	85	58.4	35	175	56.1
18	90	67.7	36	180	55.7

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	493910.26	
Punto	5		Y	2150353.75	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	47.5	19	95	70.3
2	10	46.8	20	100	63
3	15	51.6	21	105	57.8
4	20	63.5	22	110	54.9
5	25	83.5	23	115	51.7
6	30	71.2	24	120	48
7	35	63.3	25	125	50.2
8	40	55.1	26	130	45.1
9	45	50	27	135	45
10	50	44.8	28	140	47.3
11	55	47	29	145	46.7
12	60	51.8	30	150	57.7
13	65	46.1	31	155	51.3
14	70	68.6	32	160	47.3
15	75	51.5	33	165	50.2
16	80	52.3	34	170	47.7
17	85	92.6	35	175	48
18	90	83.8	36	180	50.1

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	493655.72	
Punto	6		Y	2150152.79	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.3	19	95	65.4
2	10	74.7	20	100	52.5
3	15	89	21	105	52.1
4	20	78.8	22	110	60.6
5	25	64.8	23	115	56.2
6	30	57	24	120	60.9
7	35	55.6	25	125	58.6
8	40	60.4	26	130	63.1
9	45	55.5	27	135	59.2
10	50	54.6	28	140	50.9
11	55	57.7	29	145	50.1
12	60	56.8	30	150	58.5
13	65	67.9	31	155	59
14	70	75	32	160	54.5
15	75	80.1	33	165	57.6
16	80	68.2	34	170	50.1
17	85	60.3	35	175	55.9
18	90	66.6	36	180	54.5

Colonia	Cuchilla				
Zona Critica	4		X	493464.06	
Punto	7		Y	2150071.74	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	83.1	19	95	73.3
2	10	94.9	20	100	87.1
3	15	81.8	21	105	61.2
4	20	73.6	22	110	77.1
5	25	72.3	23	115	68.6
6	30	69.8	24	120	69.9
7	35	75	25	125	54
8	40	63.8	26	130	63.9
9	45	70.6	27	135	64.2
10	50	76.5	28	140	58.6
11	55	82.7	29	145	56.3
12	60	52.5	30	150	50
13	65	76.5	31	155	50.1
14	70	82.7	32	160	52.6
15	75	52.5	33	165	83.9
16	80	78.3	34	170	93.4
17	85	81.6	35	175	81.7
18	90	80.8	36	180	70.3

Colonia	Peñon				
Zona Critica	NA		X	491504.42	
Punto	1		Y	2149235.6	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	68.2	19	95	77.9
2	10	71.3	20	100	66.6
3	15	65.6	21	105	76.3
4	20	67.2	22	110	73.2
5	25	72.6	23	115	74.5
6	30	67.7	24	120	68.2
7	35	66	25	125	66.8
8	40	71.9	26	130	69
9	45	70.5	27	135	75
10	50	69.4	28	140	71.5
11	55	67.7	29	145	74.6
12	60	69	30	150	65.2
13	65	68.2	31	155	68.4
14	70	77.9	32	160	65.8
15	75	72.8	33	165	73.2
16	80	70.3	34	170	71.1
17	85	60.9	35	175	71.5
18	90	70.8	36	180	77.3

Colonia	Peñon				
Zona Critica	NA		X	491319.2	
Punto	2		Y	2149121.92	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.4	19	95	56.5
2	10	67.7	20	100	58.7
3	15	69.2	21	105	60.5
4	20	66.5	22	110	61.3
5	25	58.6	23	115	59.4
6	30	61	24	120	56.8
7	35	64.3	25	125	55.4
8	40	65.4	26	130	60.6
9	45	59.8	27	135	61.6
10	50	58.8	28	140	65.3
11	55	66.5	29	145	63.7
12	60	64.7	30	150	63.8
13	65	66.5	31	155	59.8
14	70	61.2	32	160	70.4
15	75	64.3	33	165	71.6
16	80	63.2	34	170	67.8
17	85	59.4	35	175	65.7
18	90	64.5	36	180	68.9

Colonia	Peñon				
Zona Critica	NA		X	491163.86	
Punto	3		Y	2149037.3	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.9	19	95	59.3
2	10	59.7	20	100	69.4
3	15	68.1	21	105	68.2
4	20	67.9	22	110	65.9
5	25	69.3	23	115	66.8
6	30	72.8	24	120	64.2
7	35	62.3	25	125	79.1
8	40	75	26	130	61.8
9	45	63.8	27	135	68.8
10	50	66.2	28	140	66.5
11	55	58.7	29	145	60.3
12	60	72.1	30	150	71.4
13	65	70.2	31	155	62.5
14	70	58.8	32	160	72.8
15	75	66.9	33	165	74.3
16	80	66.5	34	170	61.9
17	85	76.8	35	175	65.4
18	90	64.2	36	180	66.9

Colonia	Moctezuma 2				
Zona Critica	5		X	490757.03	
Punto	1		Y	2148837.37	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	78.5	19	95	78.4
2	10	80.3	20	100	77
3	15	79.8	21	105	78.7
4	20	79.7	22	110	77.7
5	25	77.5	23	115	78.5
6	30	88.5	24	120	77.9
7	35	89.2	25	125	76.3
8	40	78.9	26	130	77.7
9	45	70	27	135	75.7
10	50	77.9	28	140	78.1
11	55	78.3	29	145	77.5
12	60	80.1	30	150	80
13	65	77.1	31	155	77.8
14	70	78.6	32	160	81.5
15	75	78.2	33	165	78.2
16	80	78	34	170	76.2
17	85	77.5	35	175	75.8
18	90	78.2	36	180	77.3

Colonia	Moctezuma 2				
Zona Critica	5		X	490494.36	
Punto	2		Y	2148404.08	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	79	19	95	81
2	10	77.1	20	100	78.3
3	15	80.4	21	105	79.4
4	20	79.5	22	110	79
5	25	81.6	23	115	79.1
6	30	80.1	24	120	78.2
7	35	80	25	125	77.7
8	40	86.7	26	130	79.7
9	45	79.3	27	135	80.1
10	50	80.1	28	140	80.5
11	55	80	29	145	77.2
12	60	81.8	30	150	77.3
13	65	80.1	31	155	79
14	70	78.8	32	160	79.5
15	75	78	33	165	79.3
16	80	77.4	34	170	87.2
17	85	79.4	35	175	90.9
18	90	79.3	36	180	77.5

Colonia	Moctezuma 2				
Zona Critica	5		X	490473.39	
Punto	3		Y	2148448.35	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	79.2	19	95	75.7
2	10	85	20	100	77.7
3	15	70.3	21	105	79.9
4	20	81.6	22	110	79.8
5	25	86.3	23	115	89.1
6	30	77.9	24	120	76.5
7	35	81.6	25	125	79
8	40	76.6	26	130	76.7
9	45	79.7	27	135	77.6
10	50	81.1	28	140	81.9
11	55	77.5	29	145	78
12	60	77.9	30	150	79.3
13	65	75.3	31	155	88.8
14	70	77	32	160	77.7
15	75	80	33	165	81
16	80	70.1	34	170	82.2
17	85	80.2	35	175	81.1
18	90	77.3	36	180	78.8

Colonia	Moctezuma 2				
Zona Critica	5		X	490316.25	
Punto	4		Y	2148265.86	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	65.3	19	95	63.3
2	10	69.2	20	100	64.4
3	15	70.2	21	105	63
4	20	60.1	22	110	64.4
5	25	67.3	23	115	63
6	30	71.8	24	120	65.7
7	35	70.2	25	125	61.8
8	40	71.6	26	130	65.3
9	45	80.4	27	135	65.7
10	50	91.3	28	140	65.4
11	55	73.9	29	145	59.9
12	60	71.9	30	150	70.7
13	65	58.2	31	155	65.7
14	70	66.5	32	160	59.3
15	75	65.7	33	165	60.5
16	80	61.4	34	170	61.5
17	85	63.9	35	175	61
18	90	65.2	36	180	60.6

Colonia	Moctezuma 2				
Zona Critica	5		X	490279.1	
Punto	5		Y	2148289.89	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	80.6	19	95	53.6
2	10	78.9	20	100	56.7
3	15	76.8	21	105	56.3
4	20	67.2	22	110	58.4
5	25	58.4	23	115	58.3
6	30	57.6	24	120	63.7
7	35	56.4	25	125	54.6
8	40	60.5	26	130	56.9
9	45	59.1	27	135	61.6
10	50	56.4	28	140	61
11	55	79	29	145	59
12	60	53	30	150	64.6
13	65	69	31	155	63.5
14	70	55.3	32	160	65.7
15	75	59.7	33	165	60
16	80	59	34	170	51.7
17	85	58.7	35	175	61.9
18	90	56	36	180	57.3

Colonia	Federal 211				
Zona Critica	6		X	490371.62	
Punto	1		Y	2147895.14	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.3	19	95	69.3
2	10	82.5	20	100	68.3
3	15	76.1	21	105	69.8
4	20	66.6	22	110	71.2
5	25	70.8	23	115	71.6
6	30	67.1	24	120	69.9
7	35	68.5	25	125	70.6
8	40	70.1	26	130	70.2
9	45	69.1	27	135	71.1
10	50	67.4	28	140	68.8
11	55	69.3	29	145	71
12	60	69	30	150	72
13	65	65.9	31	155	70.3
14	70	69.6	32	160	72.9
15	75	66.8	33	165	71.3
16	80	64.4	34	170	70.7
17	85	69.2	35	175	70.1
18	90	82.2	36	180	70.4

Colonia	Federal 211				
Zona Critica	6		X	490539.71	
Punto	2		Y	2147654.27	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	62.5	19	95	62.5
2	10	64.6	20	100	60.6
3	15	71.2	21	105	56.6
4	20	75.9	22	110	54.6
5	25	57.7	23	115	54.1
6	30	54.8	24	120	53
7	35	53	25	125	63.3
8	40	54.3	26	130	54.4
9	45	54.7	27	135	50.8
10	50	56.5	28	140	54.8
11	55	53.5	29	145	54.6
12	60	55.3	30	150	55.3
13	65	56.7	31	155	54.3
14	70	57.4	32	160	51
15	75	65	33	165	42.1
16	80	66	34	170	54.8
17	85	64.1	35	175	55.4
18	90	61.9	36	180	55.7

Colonia	Federal 211				
Zona Critica	6		X	490735.48	
Punto	3		Y	2147756.63	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	72.7	19	95	74.2
2	10	71.3	20	100	72.6
3	15	76.5	21	105	73.1
4	20	84.1	22	110	80.6
5	25	74.1	23	115	71.6
6	30	75.6	24	120	70.6
7	35	75.6	25	125	72.3
8	40	73.7	26	130	71.1
9	45	71.2	27	135	70.8
10	50	69.4	28	140	69.8
11	55	72.4	29	145	69.6
12	60	73.1	30	150	72.6
13	65	71.3	31	155	69.7
14	70	70.2	32	160	70.3
15	75	78	33	165	71.1
16	80	70.32	34	170	76.9
17	85	72.4	35	175	71.4
18	90	71.1	36	180	72.2

Colonia	Federal 211				
Zona Critica	6		X	490749.49	
Punto	4		Y	2147782.41	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	89.5	19	95	78.5
2	10	79.1	20	100	82.3
3	15	83	21	105	81.9
4	20	74.6	22	110	73.4
5	25	76.7	23	115	78
6	30	90.5	24	120	78.5
7	35	75.5	25	125	83.5
8	40	78	26	130	77.8
9	45	78.4	27	135	77.1
10	50	76.4	28	140	80.7
11	55	81.5	29	145	84.1
12	60	80.2	30	150	76.4
13	65	78.5	31	155	79.9
14	70	98.3	32	160	86
15	75	81.5	33	165	80
16	80	79.8	34	170	79.9
17	85	80.9	35	175	77
18	90	79.6	36	180	81

Colonia	Federal 211				
Zona Critica	6		X	491109.82	
Punto	5		Y	2147575.75	
No. De lectura	Tiempo	L (dBA)	No. De lectura	Tiempo	L (dBA)
1	5	76.7	19	95	76.3
2	10	75.7	20	100	76.9
3	15	73	21	105	76.6
4	20	78.3	22	110	79.2
5	25	75.6	23	115	81.3
6	30	77.8	24	120	77.3
7	35	79.3	25	125	76.5
8	40	76.7	26	130	74.1
9	45	76.1	27	135	75.5
10	50	85	28	140	69.9
11	55	81.7	29	145	74.1
12	60	84.3	30	150	75.1
13	65	81.7	31	155	78.4
14	70	84.3	32	160	83.5
15	75	96.8	33	165	76.6
16	80	77	34	170	76.1
17	85	83.1	35	175	75.8
18	90	78.5	36	180	74.2