



ESTUDIO DEL RUIDO GENERADO POR LA OPERACIÓN DEL TRANSPORTE CARRETERO. CASO IV, VERACRUZ

Miguel Antonio Flores Puente
Sandra Torras Ortiz
Rodolfo Téllez Gutiérrez

**Publicación Técnica No 194
Sanfandila, Qro 2002**

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Estudio del Ruido Generado por la Operación del
Transporte Carretero. Caso IV, Veracruz**

**Publicación Técnica No 194
Sanfandila, Qro 2002**



Este trabajo fue desarrollado en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte por el Quim Miguel Antonio Flores Puente, la M en I Sandra Torras Ortiz y el M en C Rodolfo Téllez Gutiérrez, investigadores del Área de Medio Ambiente.

Para la ejecución de este trabajo se contó con el valioso apoyo brindado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Unidad Regional de Servicios Técnicos del Centro SCT Veracruz, la Unidad General de Servicios Técnicos y su Unidad de Geotecnia, tanto para la realización de los estudios de campo, como por las asesorías e información proporcionada sobre características geométricas y tránsito de las carreteras analizadas. Especial mención a los CC. Ingenieros Sergio David Sada Ortega, Martín Olvera Corona y José de Jesús Morales Pérez por su apoyo personal.



Este trabajo tiene por objetivo el cuantificar los niveles reales de ruido que genera la operación del transporte en la infraestructura carretera, a fin de continuar con la línea de investigación del tema de Impacto Ambiental Generado por las Carreteras; para ello, se realizó un último estudio como Caso IV, en seis de las carreteras federales más importantes dentro del Estado de Veracruz: Poza Rica – Tuxpan, México – Tuxpan, Cardel – Veracruz, Paso del Toro – Acayucan, Xalapa – Veracruz y San Hipólito - Xalapa. La finalidad de la línea de investigación es contar con suficiente información real de campo, en diversas zonas o regiones del país para, en el caso de que por el resultado de los análisis se considere necesario, se propongan una serie de medidas de mitigación y recomendaciones que pudieran formar parte de un anteproyecto de norma para el Sector Comunicaciones y Transportes, y que pudiera convertirse en Norma Oficial Mexicana.

Para la planeación del estudio a desarrollar, se efectuaron varios recorridos por la red carretera del Estado y se evaluaron algunos tramos representativos, tomándose la determinación de seleccionar 6 segmentos críticos, donde el efecto del ruido producido por la operación del transporte pudiera tener impactos a la población circunvecina o a los mismos usuarios. A continuación se realizaron estudios de campo con equipos de medición apropiados; se tomaron lecturas del nivel de ruido equivalente Leq de 60 segundos, con intervalos cada dos minutos, entre las 8:30 y las 16:30 horas.

Se recopiló información sobre las normatividades existentes en México y en diversos países, incluyendo lo establecido por la Organización Mundial de la Salud, realizando la comparación correspondiente a fin de establecer las diferencias encontradas. En México no se cuenta con una normatividad específica que regule el ruido “global” generado por la operación del transporte en la infraestructura carretera, existiendo normas particulares que sólo cuantifican el ruido emitido por el escape de un vehículo estacionado y otras normas para fuentes fijas (industria, comercio, entre otros).

De los resultados obtenidos se aprecia que el ruido producido por la operación del transporte en carreteras del Estado de Veracruz, rebasa los límites máximos permitidos en normas internacionales y nacionales antes referidas, por lo que sí puede constituir un problema de contaminación a la población circunvecina y a los mismos usuarios del transporte.



The main purpose of this research work, is to measure the noise levels generated by the operation of the transport along the highways in Veracruz State, in order to complete a fourth phase as a part of the research line “Environmental Impacts Generated by the Highways Infraestructure”; it was made a detailed study on six of the most important roads within Veracruz state: Poza Rica – Tuxpan, México – Tuxpan, Cardel – Veracruz, Paso del Toro – Acayucan, Xalapa – Veracruz y San Hipólito - Xalapa. The final objective of this work, is to arrive in the short term to a national standard or regulation on noise generated by the transport operation along the federal highways network.

After several field trips along the road network, main segments were evaluated and pointed 6 critical segments, where the noise effect produced by the transport operation could have impacts on the surround population or the same road users. As a following step, the research engineers made six field studies with appropriate measurement equipment; the noise equivalent level (Leq) was obtained for 60 seconds with 2 minutes intervals between the 8:30 to 16:30 h.

Some information about international and national regulations was obtained, including the World Health Organization one, and respective comparisons were made.

From obtained and processed data, results had shown that values exceeded the maximum limits allowed in consulted international and national regulations.



En el ámbito internacional se está demostrando que el ruido es uno de los principales problemas de contaminación ambiental que afecta a la población, tanto en el medio urbano como en el interurbano, ya que proviene de muy diversas fuentes y no es sencillo controlar la cantidad de sonido que se envía a la atmósfera. De acuerdo a estudios en algunos países europeos, de la energía sonora total emitida, el 80% corresponde a vehículos de transporte terrestre, el 10% a la industria, el 4% a ferrocarriles y el 6% restante a distintas fuentes (aeropuertos, construcción, entre otros).

Por otro lado, son muchos los efectos adversos que elevados niveles de ruido generan al ser humano, como son trastornos auditivos, deficiencias en la comunicación oral, dolor, perturbación del sueño, incremento del estrés, efectos sobre el sistema circulatorio y daños en el equilibrio, entre otros.

Esta situación ha provocado que varios países, principalmente europeos, estén estableciendo normas rigurosas que limitan la cantidad de ruido que debe soportar un habitante, dependiendo de la actividad que se esté realizando y del período del día.

Desgraciadamente, en México no se cuenta con una normatividad específica que regule el ruido “global” generado por la operación del transporte en la infraestructura carretera, existiendo normas limitadas que sólo cuantifican el ruido emitido por el escape de un vehículo estacionado y otras normas para fuentes fijas (industria, comercio, entre otros); por ello, este trabajo tiene por objetivo el cuantificar los niveles de ruido que genera la operación del transporte en la infraestructura carretera, a fin de continuar en una cuarta fase con la línea de investigación del tema de Impacto Ambiental Generado por las Carreteras. La finalidad del trabajo de investigación, es contar con suficiente información real de campo, en diversas zonas o regiones del país, para que si del resultado de los análisis se considera necesario, se proponga un anteproyecto de norma para el Sector Comunicaciones y Transportes, que pudiera convertirse en Norma Oficial Mexicana.

Para lograr lo anterior y como última etapa, se llevó a cabo un estudio detallado dentro del Estado de Veracruz, en las principales carreteras federales, determinadas con base en el volumen vehicular que se presenta en ellas y los posibles efectos que se pueden presentar tanto a la población circunvecina como a los mismos usuarios del transporte. De este análisis fueron seleccionadas las carreteras Poza Rica – Tuxpan, México – Tuxpan, Cardel – Veracruz, Paso del Toro – Acayucan, Xalapa – Veracruz y San Hipólito - Xalapa.

Resumen Ejecutivo

Después de efectuados varios recorridos de campo por la red federal carretera del Estado, se evaluaron algunos tramos representativos y se tomó la determinación de seleccionar 6 segmentos, donde el efecto del ruido producido por la operación del transporte puede tener impactos a la población circunvecina o a los usuarios. A continuación, se realizaron estudios de campo con equipos de medición apropiados; tomándose lecturas del nivel de ruido equivalente Leq de 60 seg, con intervalos cada dos minutos, entre las 8:30 y las 16:30 horas.

Se recopiló información sobre las normatividades existentes en México y en diversos países, incluyendo lo establecido por la Organización Mundial de la Salud, realizando la comparación correspondiente a fin de establecer las diferencias encontradas. La comparación entre la normatividad establecida y los valores medidos en campo se presenta en forma resumida en la Tabla siguiente:

Carretera	Leq		L50	Leq	L10
	(8 h)			(hora más ruidosa)	
	México 68	OMS 75 OCDE 60/70 CCE, DGXI 65/70 Finlandia 55 Francia 65 España 65 Chile 70	Japón 65	E.U.A. 72	E.U.A. 75
Poza Rica – Tuxpan Km 199+050 (sentido Poza Rica)	74,9		73,5	80,9	82
México - Tuxpan Km 164+500 (sentido Tuxpan)	73,7		72,5	79	80,5
Cardel - Veracruz Km 238+900 (sentido Cardel)	74,3		73	81.8	83,2
Paso del Toro – Acayucan Km 1+100 (sentido Acayucan)	74		73	81.5	83
Xalapa - Veracruz Km 3+300 (sentido Veracruz)	73,2		72,5	79.3	81
San Hipólito - Xalapa Km 145+010 (sentido Xalapa)	75,4		72	79.6	80.6

Resumen Ejecutivo

De los resultados obtenidos se aprecia para este caso específico del Efecto del Ruido en Carreteras del Estado de Veracruz, que se rebasan los límites máximos permitidos en las normas tanto nacionales como internacionales. Parece conveniente que el Sector Comunicaciones y Transportes esté convencido del problema y los efectos que produce el ruido como contaminante, para llegar a proponer una normativa correspondiente, incluyéndose algunas medidas de mitigación para proteger a los habitantes de áreas circunvecinas a las carreteras y a los mismos usuarios del transporte.



	RESUMEN	V
	ABSTRACT	VII
	RESUMEN EJECUTIVO	IX
1	INTRODUCCIÓN	3
2	GENERALIDADES	7
	2.1 Problemática del Ruido	7
	2.2 Definición del Sonido	10
	2.3 Definición del Ruido	12
	2.4 Formas de Medición	14
	2.5 Efectos en la Salud	17
3	MEDICIÓN DEL RUIDO	23
	3.1 Métodos de Previsión	24
	3.1.1 Modelos matemáticos	26
	3.1.2 Análisis de los modelos de cálculo	28
	3.2 Métodos de Medición	30
	3.2.1 Metodologías	31
	3.2.2 Instrumentos de medición	34
	3.2.3 Tiempo e intervalos	37
	3.2.4 Puntos de medición	39
4	NORMATIVIDAD	41
	4.1 Límites Admisibles de Ruido	43
	4.2 Normatividad en México	45
	4.3 Normatividad en otros Países	51
	4.3.1 Límites de la OMS, OCDE, CCE y DGXI	51
	4.3.2 Normatividad Japonesa	53
	4.3.3 Normatividad Finlandesa	54
	4.3.4 Normatividad Francesa	56
	4.3.5 Normatividad de Estados Unidos	57
	4.3.6 Normatividad Española	58
	4.3.7 Normatividad Chilena	59
	4.3.8 Normatividad República Dominicana	60

5	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE VERACRUZ	63
5.1	Ubicación Geográfica	63
5.2	Climas	66
5.3	Población	67
5.4	Vivienda	68
5.5	Infraestructura de Transporte	68
6	ESTUDIO DE CAMPO EN CARRETERAS	73
6.1	Método de Medición	73
6.2	Instrumentos de Medición	74
6.3	Tiempo e Intervalos	78
6.4	Puntos de Medición	78
6.5	Resultados del Estudio de Campo	81
6.5.1	Poza Rica-Tuxpan Km 199+050 (sentido Poza Rica)	81
6.5.2	México-Tuxpan Km 164+500 (sentido Tuxpan)	84
6.5.3	Cardel-Veracruz Km 238+900 (sentido Cardel)	87
6.5.4	Paso del Toro-Acayucan Km 1+100 (sentido Acayucan)	90
6.5.5	Xalapa-Veracruz Km 3+300 (sentido Veracruz)	93
6.5.6	San Hipólito-Xalapa Km 145+010 (sentido Xalapa)	96
6.5.7	Resumen de resultados	99
7	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	101
7.1	Variaciones en los niveles de Ruido Medidos en Función de las Características de la carretera	101
7.2	Comparación de los niveles obtenidos en las carreteras del Estado de Veracruz contra las normativas Mexicana e Internacional	106
8.	CONCLUSIONES	111
9.	BIBLIOGRAFÍA	117
	ANEXO LECTURAS DEL RUIDO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	121

Se ha observado en todo el mundo una preocupación general por alcanzar un estado en el que sea posible un desarrollo integral del ser humano y de todas sus actividades, siendo esto posible sólo si durante el proceso se observan cuidadosamente las necesidades del medio ambiente.

La evaluación y el control del impacto de la infraestructura carretera en el medio ambiente es algo relativamente reciente para los planificadores, constructores y operadores de las carreteras; sin embargo, la tendencia mundial apunta a la incorporación de estudios de impacto ambiental, con el objeto de identificar y valorar los impactos potenciales que futuras obras de este tipo generarán en el ambiente.

El ruido es un subproducto no deseado del modo de vida moderno, es una sensación auditiva molesta y una de las perturbaciones ambientales que de manera muy importante afectan al hombre (directamente a la calidad de vida), aunque éste en muchas ocasiones no es consciente de sus efectos, pues no suelen manifestarse de forma inmediata, lo hacen a largo plazo y no se percibe con claridad la relación causa – efecto.

La Organización Mundial de la Salud ha hecho a lo largo del tiempo numerosas investigaciones que tienen por objeto conocer los efectos que tiene el ruido (ya sea temporal o permanente) sobre los seres humanos, en función del tiempo de exposición y/o del nivel sonoro. Estos efectos pueden ser visibles en el trabajo, descanso, sueño, audición y comunicación, debido al impacto producido en las reacciones psicológicas y fisiológicas del ser humano.

En México, aún no se cuenta con estudios que permitan cuantificar los niveles de ruido que se generan por la operación del tránsito vehicular por las carreteras, con la finalidad de establecer la importancia de este impacto al medio ambiente; por ello, el objetivo del presente estudio es tratar de definir si dentro del Impacto Ambiental

generado por la Infraestructura Carretera, los niveles sonoros producidos por la operación del transporte son de tal magnitud que representan un problema necesario de estudiar y plantear medidas que lo minimicen.

Para cumplir con el objetivo citado, se llevó a cabo un estudio, en el cual se midió el ruido producido por el transporte en las principales carreteras del estado de Veracruz en un horario diurno. Las carreteras o tramos críticos fueron elegidos con base en sus volúmenes de tránsito, a la situación topográfica y a los posibles efectos sobre el usuario y la población circunvecina afectada. Todos los resultados se han integrado en el presente documento.

El documento se divide en siete partes fundamentales; Generalidades, Formas de Medición, Normativas Vigentes, Principales Características de Veracruz, Estudios de Campo, Análisis y Evaluación de Resultados, y Conclusiones.

En el Capítulo de Generalidades se describe la problemática del ruido a nivel mundial, con la finalidad de tener un marco de referencia en el cual se desarrolla el estudio piloto, se presenta la definición del ruido, su unidad de medida y los efectos del ruido sobre la salud, como son la pérdida de la audición, la interferencia de la comunicación, dolor, perturbación del sueño, estrés y molestias, a fin de recalcar la importancia de la amenaza que representa el ruido como parámetro de la contaminación ambiental.

En el Capítulo 3 se tratan métodos de medición del ruido, junto con los equipos utilizados, tiempos e intervalos más comunes y la elección de los puntos, a fin de que las mediciones sean realmente representativas de la carretera en estudio.

En el Capítulo 4, se indican las normativas en vigor de algunos países, los índices de referencia, los indicadores del ruido más comunes y la normativa nacional vigente en materia de ruido.

1 Introducción

En el capítulo 5 se hace mención de las principales características del estado de Veracruz, tales como: ubicación geográfica, climas, población, infraestructura, industria, entre otras.

En el Capítulo 6, se describe la metodología utilizada en el estudio de campo, horarios, intervalos, equipos, puntos de medición y las condiciones de trabajo.

En el Capítulo 7 y con base en los datos obtenidos en el campo, se presenta un análisis de los resultados, describiendo las variaciones en los niveles de ruido que se presentaron en los puntos de estudio y los factores que influyen de manera más notable en la generación del ruido; asimismo, se detallan las condiciones físicas de las carreteras y finalmente se realiza una comparación de los niveles de ruido encontrados en las carreteras del Estado de Veracruz con las diversas normas nacionales e internacionales.

Por último, se dan las conclusiones emanadas de la realización de este trabajo y se presenta la bibliografía básica consultada.

2.1 Problemática del Ruido

En el ámbito mundial, cada vez son más los países industrializados y en vías de desarrollo que no sólo han identificado la amenaza que el ruido representa en el bienestar humano, sino en todo el medio ambiente. Las reglamentaciones y normas existentes en el ámbito internacional definen principalmente, la forma de determinar las propiedades acústicas de los materiales así como la metodología para medir los niveles sonoros producidos por los vehículos. Sin embargo, respecto a la emisión y control del ruido producido por el transporte carretero, no se cuenta con algo específico; existen numerosos puntos de vista tanto del lado de los métodos de evaluación, como de las reglamentaciones implicadas.

Estudios realizados en países europeos muestran que la energía sonora total emitida a la atmósfera tiene su fuente de origen en:

- Vehículos de transporte terrestre 80%
- Ferrocarriles 4%
- Industria 10%
- Varios (aeropuertos, construcción, entre otros.) 6%

Desde el punto de vista del medio ambiente, el estudio y control del ruido tienen sentido en cuanto a su utilidad para alcanzar una cierta protección de la calidad del ambiente sonoro. Los sonidos son analizados para determinar los niveles en que se introducen en determinadas áreas y situaciones y conocer el grado de molestia sobre la población. Existen situaciones en que las molestias son evidentes, ya que la exposición al ruido

puede provocar daños físicos evaluables; sin embargo, en gran parte de los casos, el riesgo para la salud no es tan fácil de cuantificar, interviniendo factores psicológicos y sociales que suelen ser analizados desde un punto de vista estadístico.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el ruido debe ser tratado como una amenaza al bienestar humano.

El ruido originado por los transportes en operación sobre una infraestructura, es cada vez más elevado. En la Figura 2.1 se muestra el porcentaje de personas expuestas a diferentes niveles de ruido en algunos países bajo tres niveles diferentes: <55 dB(A), entre 55 y 65 dB(A) y >65 dB(A), donde:

- Leq diurno Nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía del ruido realmente percibido en un intervalo de tiempo diurno, usualmente de 6:00 a 22:00 hr.
- Leq 24 horas Nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía del ruido realmente percibido durante un intervalo de 24 horas.
- dB(A) dB significa decibelio y es la unidad de medición del ruido, la (A) representa el filtro de ponderación “A” que filtra el ruido de la misma manera que lo hace el oído humano.

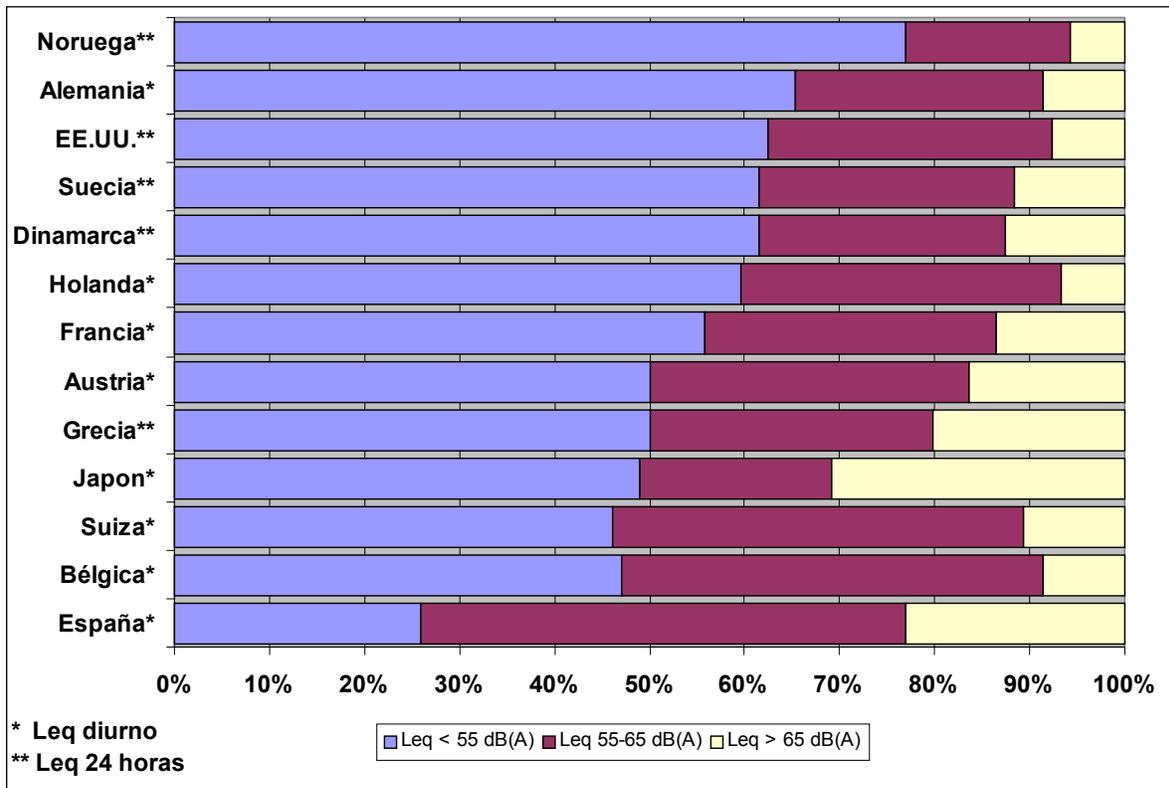


Figura 2.1 Porcentaje de población expuesta al ruido

En México se carece de un control estadístico del ruido generado por la operación del transporte en las carreteras, por lo cual no se sabe a ciencia cierta si el ruido es o no un problema.

El ruido producido por la operación del transporte en las carreteras es un fenómeno complejo, esencialmente en razón de los efectos sensoriales que produce sobre los seres humanos, lo que explica la relatividad de ciertos componentes, así como el hecho de la dificultad de medirlo físicamente. Su intensidad varía con la distancia que separa la fuente del receptor y el contexto ambiental en el cual se propaga.

La propagación del sonido depende de la interacción entre tres factores:

- Los vehículos: tipo, número y velocidad.

- La estructura de la carretera: su concepción o diseño, construcción y materiales.
- El medio próximo al sistema carretera-entorno, sus componentes y receptores, las características de los edificios y el número de habitantes.

Ciertos factores ejercen influencia en la propagación del ruido; son los siguientes:

- La distancia
- La absorción del aire
- La influencia de la temperatura y viento
- Efecto de suelo y la topografía
- Efecto de obstáculos (vegetación, barreras)

2.2 Definición del Sonido

El sonido es parte común de la vida cotidiana, proporciona experiencias agradables como escuchar música, posibilita la comunicación hablada con la familia y amigos, alerta y advierte con el llamado de un teléfono o una sirena de emergencia. El sonido también permite realizar evaluaciones de calidad y de diagnóstico como el escuchar el motor de un automóvil, una rueda rechinando o los latidos del corazón.

El sonido se define como una alteración física en un medio (gas, líquido o sólido) que puede ser detectada por el oído humano. El medio por el cual viajan las ondas sonoras ha de poseer masa y elasticidad.

2 Generalidades

Las ondas sonoras en el aire son causadas por las variaciones de presión por encima y por debajo del valor estático de la presión atmosférica. [La presión atmosférica tiene un valor de aproximadamente 10^5 pascales (Pa), que es equivalente a 10^6 dinas/cm², 10^5 newtons/m² (N/m²) o 14.7 lb/ft², a nivel del mar a 0° C (32° F)].

El sonido se propaga por la puesta en vibración de las moléculas de aire situadas en la proximidad del elemento vibrante, que a su vez transmiten el movimiento a las moléculas vecinas y así sucesivamente. La vibración de las moléculas de aire provoca una variación de la presión atmosférica, es decir, el paso de una onda acústica produce una onda de presión que se propaga por el aire. La velocidad de propagación en este medio, en condiciones normales de temperatura (21 grados centígrados) y presión (1 atmósfera o una columna de presión de 766 mm de mercurio), es aproximadamente de 344 m/s.

Las variaciones de presión se originan de muchas maneras, por ejemplo:

- 1 Por una corriente de aire pulsante, como las que producen las aspas del ventilador al girar.
- 2 Por torbellinos, que se producen cuando una corriente de aire choca con una obstrucción, como ocurre en una salida de aire en un sistema de ventilación.
- 3 Por el vuelo supersónico de un avión, que crea ondas de choque.
- 4 Por la vibración de una superficie, por ejemplo, el rasgueo de una guitarra.

El número de variaciones de presión por segundo es llamado la **Frecuencia** del sonido, la unidad de Frecuencia puede ser llamada ciclos por segundo o **Hertz (Hz)**.

El rango normal de audición en los seres humanos va de los 16 a 20,000 Hz, según los patrones establecidos; sin embargo, la capacidad auditiva varía según el individuo.

2.3 Definición del Ruido

Puede definirse como ruido a cualquier sonido que sea desagradable; sin embargo, el nivel en que un ruido pueda ser molesto no sólo depende de la calidad del sonido, sino también de nuestra actitud hacia él.

Este carácter de molestia, unido a la definición de ruido, añade un componente de carácter no acústico que necesita la contribución de la fisiología, la psicología, la sociología y otras disciplinas para ser correctamente interpretado.

Para poder abordar el problema del ruido, es necesario el establecimiento de un indicador que explique el grado de molestia. De los parámetros e índices desarrollados en el campo de la acústica para el estudio de los sonidos, es preciso seleccionar un indicador de molestias que sirva de base para la evaluación del impacto y para el establecimiento de valores límite que garanticen una determinada calidad del ambiente sonoro.

Las molestias debidas al ruido dependen de numeroso factores. El índice que se seleccione debe ser capaz de contemplar las variaciones o diferentes situaciones de al menos los siguientes aspectos:

a) **Energía sonora.** Las molestias que produce un sonido están directamente relacionadas con la energía del mismo; a más energía mayor molestia.

b) **Tiempo de exposición.** Para un mismo nivel de ruido, la molestia depende del tiempo de exposición, en general, un mayor tiempo de exposición supone un mayor grado de molestia.

c) **Características del sonido.** Para un mismo nivel de ruido y un mismo tiempo de exposición, la molestia depende de las características del sonido: espectro de frecuencias, ritmo, etc.

d) **Receptor.** No todas las personas consideran el mismo grado de molestia para el ruido, depende de factores físicos, sensibilidades auditivas y en mayor medida de factores culturales.

e) **Actividad del receptor.** Para un mismo sonido, dependiendo de la actividad del receptor, éste puede ser considerado como un ruido o no. Algunas actividades o estados requieren ambientes sonoros más silenciosos (lectura, enfermedades, conversaciones, etc.) percibiéndose como ruido cualquier sonido que no esté relacionado con la actividad.

f) **Expectativas y calidad de vida.** En este punto se engloban aquellos aspectos subjetivos, difíciles de evaluar, que están relacionados con la calidad de vida de las personas; para ciertos grupos de personas, las exigencias de calidad ambiental para el tiempo y los espacios dedicados al ocio son muy superiores a las de otras situaciones.

En la Tabla 2.1, se ejemplifica el ruido producido en diferentes lugares;

Nivel de Presión Sonora dB(A)	Sensación Acústica	Ejemplos
< 0	No audible	Cámara anecoica
0	Umbral de audibilidad	Test de audiometría
10	Muy silenciosa	Estudio de grabación
20		Grutas
30	Silenciosa	Dormitorio
40		Oficina tranquila
50	Moderada	Oficina
60	Molesta (para un trabajo intelectual)	Conversación a 1 metro
70	Moderadamente desagradable	Calle peatonal – taller de confección
80	Desagradable	Estación de tren
90	Umbral de peligro si se soporta más de 8 horas al día	Taller con maquinaria
100	Muy fuerte	Maquinaria de laminado
110	Los gritos no son audibles	
120	“Sordera”	
130	Umbral del dolor	Avión despegando

Tabla 2.1 Niveles de ruido diversos

2.4 Formas de Medición

El ruido producido por el desplazamiento de los vehículos en la carretera se mide en decibeles “A”; que es la unidad usada para medir un sonido y el tamaño o amplitud de las fluctuaciones de presión. El **decibel** no es una unidad absoluta de medición, es una relación entre la cantidad medida y un nivel de referencia acordado, la escala dB es logarítmica y emplea el umbral mínimo de audición de 20 μ Pa como nivel de referencia, esto es definido como 0 dB, la “A” significa que el nivel de ruido es recogido por un micrófono que lo filtra y ajusta de la misma manera que el oído humano filtra y ajusta el

sonido que recibe. Es importante anotar que esta elección está totalmente justificada para las medias y altas frecuencias.

Los ruidos generados por los vehículos en operación son fluctuantes, por tanto es necesario poderlos caracterizar de una manera simple para poder predecir el nivel de molestia asociado. El indicador más comúnmente utilizado es el “**Leq**”, el cual representa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo. Existe Leq para un minuto, una hora, un día, etc., normalmente se utiliza el filtro de ponderación “A”, de manera que se escribe L_{Aeq} . El número entre paréntesis que sigue al L_{Aeq} indica el período durante el cual el nivel de sonido equivalente ha sido medido. Su formulación matemática es:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \text{LOG} \left(\frac{1}{T} \right) \int_T \left(\frac{P}{P_o} \right)^2 dt$$

Donde:

- L_{Aeq}** Media de la energía sonora ponderada
- T** Tiempo de duración de la medición
- P** Presión sonora instantánea en Pascales
- P_o** Presión de referencia $2 \cdot 10^{-5}$ Pascales
- dt** diferencial de tiempo

Algunas de las ventajas que ofrece el uso de este parámetro son:

- Una comprensión sencilla.
- Permite establecer comparaciones y agregar niveles procedentes de distintas fuentes.

- Es el índice más utilizado en las evaluaciones de Impacto Ambiental.
- Permite considerar diferentes períodos de tiempo para la evaluación del impacto.
- Permite comparar los niveles originados por una determinada fuente con los niveles de fondo ambientales.
- Se puede obtener directamente de los instrumentos de medición.

También se utilizan como indicadores del ruido los de la serie estadística (niveles percentiles). La variación del ruido durante un cierto período puede registrarse y descomponerse el período de medida en intervalos constantes para cada uno de los cuales se obtienen sus niveles de presión sonora, definiéndose los siguientes indicadores:

- L_1 nivel alcanzado o sobrepasado durante el 1% del tiempo en el período considerado, es un valor muy cercano al ruido máximo.
- L_{10} nivel de ruido sobrepasado durante el 10% del tiempo considerado.
- L_{50} nivel de ruido sobrepasado durante el 50% del tiempo, es la mediana estadística.
- L_{90} nivel de ruido sobrepasado durante el 90% del tiempo considerado, a veces suele tomarse este valor como el ruido de fondo.
- L_N nivel alcanzado o sobrepasado durante el N% del tiempo.

Otros indicadores del ruido pueden ser:

- **L_{máx}** que indica el nivel de ruido máximo producido durante un período de tiempo.
- **L_{min}** que indica el nivel de ruido mínimo producido durante un período de tiempo.

2.5 Efectos en la Salud

El ruido afecta a lo largo de la vida y no hay nadie (ni siquiera las personas con sordera total) que no se halle expuesto a los efectos del mismo. Este fenómeno puede perturbar el trabajo, el descanso, el sueño y la comunicación de los seres humanos; provoca reacciones psicológicas, fisiológicas e incluso patológicas; no obstante, a causa de la complejidad y variabilidad de estas reacciones y de la interacción del ruido con otros factores ambientales, es difícil analizar los efectos nocivos del ruido en la salud.

En la mayoría de los casos, los efectos del ruido sobre el ser humano son negativos, ciertas veces nulos y casi nunca benéficos. En el caso de los conductores de vehículos de transporte de carga, su comportamiento se puede ver afectado por tensión y fatiga lo que lleva a situaciones donde se producen accidentes.

A continuación se presentan los efectos más significativos del ruido sobre el ser humano, identificados por la Organización Mundial de la Salud.

Audición

Suele considerarse como trastorno auditivo el nivel de audición en el que los individuos comienzan a tener dificultades para llevar una vida normal, comúnmente en lo concerniente a la comprensión del habla. En Estados Unidos se ha definido el trastorno auditivo como un promedio aritmético de pérdida de audición de 26 dB(A); en Polonia se ha establecido ese promedio en 30 dB(A) y en el Reino Unido en 30 dB(A).

El desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido (DTUIR), es el fenómeno que experimenta una persona que entra en una zona muy ruidosa y sufre una pérdida medible de sensibilidad auditiva, pero que puede recobrase algún tiempo después de regresar a un ambiente silencioso.

El desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido (DPUIR) a diferencia del DTUIR, implica que la pérdida auditiva es permanente y no existe recuperación.

Comunicación oral

Ciertas mediciones indican que a una distancia de un metro del hablante la conversación reposada se realiza con un nivel de voz de unos 56 dB(A) y a medida que aumentan los niveles de ruido las personas tienden a elevar la voz para superar el efecto de enmascaramiento. Las voces normal y elevada emplean niveles aproximados de 66 dB(A) y 72 dB(A) respectivamente.

Dolor

Se produce dolor de oído cuando el tejido de la membrana timpánica resulta distendido por presiones acústicas de gran amplitud, en ocasiones la membrana puede llegar a romperse. Si bien son muy amplias las variaciones individuales, especialmente ante los estímulos de alta frecuencia, el umbral de dolor en los oídos normales se encuentra en

la región de los 110-130 dB(A). El umbral del malestar físico está en la región de los 80 dB(A), mientras que en oídos enfermos, por ejemplo en casos de inflamación, sonidos de unos 80-90 dB(A) pueden causar dolor en el tímpano o en el oído medio.

Perturbación del sueño

El ruido producido por la operación del transporte, puede causar dificultad para conciliar el sueño, alterar los patrones de éste y despertar a los durmientes, se han podido identificar 4 etapas en el sueño, cada una de las cuales es más profunda, todas estas etapas son necesarias para la salud mental y fisiológica.

Los efectos del ruido sobre el sueño parecen aumentar a medida que los niveles de ruido sobrepasan un Leq de 35 dB(A). En un estudio, la probabilidad de que los sujetos fueran despertados por un nivel sonoro máximo de 40 dB(A) fue de 5% y aumentó al 30% con 70 dB(A).

El ruido intenso puede mejorar el rendimiento en personas que no han dormido y están cansadas, incluso cuando realizan un trabajo que sería muy afectado por el ruido si el sueño hubiera sido normal. Es inferior el desempeño de una tarea que requiera la participación de la memoria, después de la exposición nocturna a niveles de 80 dB(A).

Estrés

El estrés es una serie de respuestas primitivas de defensa del organismo transmitidas por medio del sistema nervioso vegetativo debido a la exposición a ciertos estímulos, uno de ellos es el ruido; si la exposición es transitoria, generalmente el sistema vuelve a la normalidad en unos minutos. Se ha señalado que si la estimulación por el ruido es persistente o se repite con regularidad, pueden producirse alteraciones permanentes en los sistemas neurosensorial, circulatorio, endocrino, sensorial y digestivo.

Equilibrio

Un nivel elevado de ruido puede influir sobre el equilibrio, los niveles requeridos para causar esos efectos en las personas son de 130 dB(A) o más; niveles menos intensos, de 95 a 120 dB(A), también perturban el equilibrio cuando es desigual la estimulación en uno y otro oído.

Fatiga

La tensión adicional que el ruido ejerce sobre el organismo puede causar la aparición de fatiga en forma directa o indirecta al interferir con el sueño, pero también pueden provocar síntomas de fatiga una serie de factores ambientales e individuales.

Salud Mental

Se ha comprobado que la exposición al ruido puede provocar una serie de respuestas y reflejos biológicos, la mayor parte de los datos se han obtenido en estudios de corta duración con animales y seres humanos; no obstante, se ha supuesto que si la estimulación fuera continua, esas respuestas conducirían finalmente a la aparición en el hombre de enfermedades físicas y mentales clínicamente identificables.

Se ha atribuido a la exposición al ruido numerosos síntomas y signos clínicos que incluyen náusea, cefalagia, irritabilidad, inestabilidad, conflictividad, disminución del impulso sexual, ansiedad, nerviosidad, insomnio, somnolencia anormal y pérdida del apetito.

Molestias

Se han establecido curvas patrón que señalan el porcentaje de personas que sufren molestias en función del ruido generado por la operación del transporte, por lo que en base a éstas, se puede llegar a la conclusión de que en zonas residenciales donde la exposición general diurna al ruido sea inferior a un Leq de 55 dB(A), serán pocas las personas que sufrirán molestias graves.

Rendimiento

El ruido puede interferir en el rendimiento o mejorarlo, pero a menudo no se produce ninguna modificación significativa. Básicamente todo desempeño, ya sea mental o motor, puede resultar afectado negativamente por el ruido, tendiendo a ser este efecto más grave cuando la tarea es difícil o compleja y a medida que aumenta el tiempo de exposición al ruido.

El ruido puede actuar como elemento de distracción cuando se presenta un ruido novedoso o cuando se interrumpe inesperadamente un ruido familiar, en ambos casos el efecto desaparece cuando el ruido, o la ausencia de este deja de ser una novedad.

Los niveles moderados de ruido aumentan el estado de alerta durante las tareas monótonas. Estímulos sonoros con un nivel de 72 dB(A) mejoran la vigilancia visual.

La exposición al ruido produce una mezcla de efectos positivos y negativos sobre el desempeño de tareas y puede afectar negativamente las tareas que requieren una labor de memorización y de resolución de problemas; sin embargo, cuando el ruido actúa únicamente en la etapa de cálculo, mejora el rendimiento.

La evaluación de los niveles de ruido producidos por la operación del transporte en una carretera, puede llevarse a cabo para dos objetivos: medición y previsión.

Los métodos de medición consisten en la toma de lecturas directas del ruido mediante instrumentos acústicos como los sonómetros, los cuales sólo proporcionan información sobre una situación determinada por una serie de condiciones específicas y el momento en que se toman las medidas; debido a que el tránsito y las condiciones atmosféricas varían con el tiempo, sólo pueden compararse mediciones estrictamente simultáneas, a menos que se consideren las correcciones pertinentes.

Se emplean principalmente los métodos de medición para determinar los niveles de ruido antes de la construcción de las carreteras, con el objeto de predecir el incremento de nivel que se producirá posteriormente, estos métodos ofrecen poca confiabilidad cuando se desconoce la influencia de otros factores como son emisiones de ciertos vehículos y algunos tipos de pavimentos y superficies de rodamiento.

Los métodos de previsión se basan en el conocimiento de las teorías de emisión y propagación del sonido, éstas permiten calcular los niveles de ruido a través de la simulación de situaciones reales o predecibles, mediante modelos matemáticos o físicos.

Desde el punto de vista técnico, los métodos de previsión son mejores para determinar los niveles sonoros derivados de la operación de una carretera; su menor costo y su mayor confiabilidad nos indican que deberían preferirse para proceder a la evaluación del ruido; pueden desarrollarse un gran número de escenarios al utilizar un método de cálculo que introduzca volúmenes del tránsito, tipos de pavimentos, posición y número variable de puntos de recepción y distintos diseños de medidas de amortiguación del ruido.

Frecuentemente se combinan los métodos de previsión y medición para proporcionar uno mejor o para hacer más operativa la evaluación.

En la práctica, las dos características que determinan la calidad de un método son:

- **Validez.** Precisión de los resultados obtenidos.
- **Operatividad.** En términos tanto de tiempo como económicos.

3.1 Métodos de Previsión

Se han desarrollado en distintos países métodos de previsión de los niveles sonoros producidos por la operación de las carreteras; en algunos países determinados métodos de previsión son adoptados o promovidos oficialmente por las autoridades responsables de la explotación del suelo y del diseño de la amortiguación del ruido, en estos casos las normas condicionan los algoritmos de cálculo a utilizar en el método y el tipo de resultados que se debe obtener.

En los países donde existen métodos oficiales, se permite el empleo de otro modelo de previsión, siempre que se demuestre que los resultados obtenidos son similares a los que se consiguen con el método oficial.

Los diversos métodos de previsión del ruido, caracterizados por diferentes niveles de detalle y fiabilidad, pueden clasificarse en tres grupos:

- Métodos manuales basados en ábacos, tablas o ecuaciones analíticas simples.
- Modelos físicos reducidos (maquetas).

- Simulaciones directas mediante el cálculo automático.

Los métodos manuales se utilizan en una primera evaluación y se aplican a situaciones sencillas. Una fórmula general de cálculo permite determinar el nivel de ruido producido por el tránsito, mientras que los ábacos y las tablas se emplean para la consideración de los factores de corrección derivados de diferencias topográficas u otras condiciones.

Los modelos físicos reducidos permiten reproducir con gran detalle situaciones espaciales muy complejas; sin embargo, los modelos reducidos son extremadamente costosos en términos tanto de financiamiento como de medios, pues requieren de la construcción de un modelo reducido “ad-hoc” y precisan de un equipo experimental altamente sofisticado.

Las simulaciones numéricas requieren el uso de programas informáticos que permiten llevar a cabo previsiones en la mayoría de los escenarios topográficos, siendo capaces de evaluar los fenómenos acústicos de propagación, reflexión y absorción; el detalle y la precisión de sus resultados, dependen tanto de la complejidad del modelo como de la calidad de los datos de entrada.

Salvo cuando se emplea un modelo físico reducido, lo que rara vez ocurre, la previsión del ruido producido por las carreteras se realiza mediante la utilización de fórmulas matemáticas, éstas resultan tanto de consideraciones teóricas como empíricas que involucran potencia sonora emitida y ciertas atenuaciones.

La complejidad de los procesos de cálculo, especialmente si se persigue un cierto grado de precisión, requiere el empleo de programas informáticos para reducir el tiempo empleado en el cálculo.

Todos los modelos tienen en cuenta parámetros que representan las diferentes variables implicadas; en estos casos, los parámetros reproducen las fuentes sonoras (parámetros del tránsito), condiciones topográficas, situación de los puntos de recepción y atenuaciones causadas por el aire y el suelo. Las influencias meteorológicas no se consideran en la mayoría de los modelos de previsión existentes.

3.1.1 Modelos matemáticos

Las fórmulas de los modelos matemáticos son muy parecidas a las de los modelos de previsión, se obtiene experimentalmente un nivel de ruido de referencia correspondiente al nivel producido por un único vehículo circulando en condiciones normalizadas a una distancia de referencia, incorporando este dato a la fórmula como un valor constante, éste es corregido mediante factores que tienen en cuenta la influencia de los tipos de vehículos, el número, la velocidad media, el tipo de pavimento, la absorción del suelo, la sección de la carretera, el efecto pantalla producido por los obstáculos, entre otros. El número y valor de estos factores varía de un modelo a otro.

La estructura general de los modelos matemáticos es la siguiente:

- 1 Descripción topográfica del lugar, definiendo la ubicación de los puntos receptores, características absorbentes del terreno, presencia de obstáculos naturales o artificiales, etc.
- 2 Caracterización acústica de las fuentes de emisión (carretera, ferrocarril, etc.), perfil longitudinal, secciones, estructuras (carretera nivelada o elevada, túneles, viaductos, tipo de vehículos, etc.).

3 Medición del Ruido

- 3 Caracterización acústica de las fuentes (flujo de tránsito, velocidad media, tipo de vehículos, etc.).

- 4 Análisis de la difusión del sonido en su propagación, es necesario tener en cuenta la atenuación debida a la distancia, la absorción del suelo, las reflexiones y difracciones provocadas por los obstáculos y la absorción acústica del aire.

- 5 Salida de resultado.

Las autoridades estatales australianas de la carretera emplean el método de previsión CoRTN (Department of Transport Welsh Office Calculation of Road Traffic Noise, 1988) para la evaluación del ruido originado por el tránsito, este método se ha adaptado para ser utilizado en diversos paquetes de software. Se utiliza en las fases de planificación/diseño de la construcción de nuevas carreteras y para determinar las características de las pantallas acústicas.

En Austria, la evaluación de los niveles sonoros se realiza a través de un método de cálculo austriaco desarrollado en 1983, que tiene carácter oficial.

Las autoridades públicas de Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia adoptaron oficialmente un modelo nórdico de cálculo de ruido originado por el tránsito, este método se emplea en la planificación de la explotación del suelo, la ordenación y regulación del tránsito y el diseño de la amortiguación del ruido.

En Noruega se ha desarrollado un modelo de PC (VSTÖY) basado en una simplificación del NBSTÖY, para la evaluación general y aproximada en la que se ha planificado especialmente el suelo.

En Alemania, el documento llamado “Directivas para la Protección del Ruido en las Carreteras”(R.L.S. 90), publicado por el Departamento de Construcción de Carreteras del Ministerio Federal de Transportes, da un método de previsión de los niveles sonoros producidos por la circulación y un método de dimensionamiento de las pantallas acústicas.

En Holanda, la “Normativa sobre Medida y Cálculo del Ruido Producido por el Tráfico”, dictada por el Ministerio de Vivienda, Planificación y Medio Ambiente, proporciona dos métodos de cálculo: El Método de Cálculo Estándar 1 (SCM) y El Método de Cálculo Estándar 2 (SCM2).

En Suiza, las autoridades federales de Ensayo de Materiales, “Federal Material Testing Authorities” (EMPA), han desarrollado un programa de evaluación del ruido producido por el tránsito, SrL-86, a requerimiento de la Oficina Federal de Protección al Ambiente.

En Estados Unidos, la Federal Highway Administration (FHWA) ha desarrollado y difundido un método de previsión del ruido producido por la circulación, el “FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model”, empleado por todos los organismos estatales de autopistas de ese país.

En Inglaterra, el método C.R.T.N. (Calculation of Road Traffic Noise) desarrollado en 1975, permite la evaluación y previsión del nivel estadístico L10, tanto para una hora determinada “base” como para el período comprendido de las 6 a las 24 hrs.

3.1.2 Análisis de los modelos de cálculo

Un método de previsión del ruido producido por el tránsito debe de ser capaz de obtener niveles de ruido, cualquiera que sean las condiciones en que se produzca y

propague, debe proporcionar resultados suficientemente representativos de los niveles sonoros reales existentes; el logro de estos objetivos, depende de los dos procesos de evaluación siguientes:

- Evaluación de los niveles sonoros debidos a la intensidad del tránsito.
- Evaluación de la atenuación sonora entre la fuente y el punto de recepción.

El primer punto se basa en los niveles de ruido producidos por diferentes categorías de vehículos, a una distancia prefijada y en condiciones de propagación en campo abierto.

Es necesario un gran esfuerzo para formar bases de datos que sean revisadas y puestas al día permanentemente, conteniendo los niveles sonoros de referencia para todas las categorías de vehículos, todos los tipos de pavimentos y condiciones de circulación, las cuales permitirían a los usuarios de los métodos de previsión el seleccionar en cada situación los datos a introducir; además, serían necesarias mejoras relativas a la distribución espacial de fuentes sonoras en las carreteras, es decir, varios carriles con diferentes tipos y números de vehículos frente a carriles simples con tránsitos mixtos.

En relación con la atenuación de la propagación de la energía sonora, los métodos ofrecen poca confiabilidad a la hora de evaluar las pérdidas de energía sonora producidas por el efecto suelo y por la presencia de obstáculos; los métodos de previsión generalmente se emplean para calcular los niveles sonoros que son más altos que aquéllos que se obtienen experimentalmente, ya que muestran una visión muy limitada de los tan complejos fenómenos de atenuación. Los niveles medidos para puntos de recepción próximos a la fuente, son generalmente más bajos que los previstos porque no se tiene en cuenta el efecto de apantallamiento creado por la circulación de los vehículos a lo largo de las múltiples vías, también se han apreciado notables diferencias entre los niveles medidos y los previstos en puntos de recepción

distantes, en donde es muy destacada la atenuación del sonido causada por el efecto suelo; la presencia de obstáculos y las complejas condiciones topográficas con frecuencia producen desviaciones apreciables en los niveles calculados, todos estos efectos representan el punto más débil de la mayoría de los métodos de previsión.

Los programas de informática más utilizados para la previsión del ruido producido por el tránsito ofrecen muchas posibilidades de cálculo. En un período relativamente corto, se pueden realizar previsiones para un gran número de puntos de recepción, con diferentes hipótesis de tránsito y pantallas acústicas; sin embargo, a pesar del gran esfuerzo de las técnicas informáticas por incorporar variables espaciales, los programas de previsión existentes no han conseguido superar por completo los obstáculos topográficos, a menos que el usuario utilice estos obstáculos como tipos de pantallas tipificadas, este factor descalifica definitivamente la aplicación de estos métodos a la evaluación de impacto ambiental en zonas extensas, en donde las condiciones topográficas no son tan claras como se requeriría para la precisión de los métodos de previsión.

3.2 Métodos de Medición

Desde el punto de vista técnico, en la mayoría de los países se prefiere el uso de los métodos de previsión para determinar los niveles de ruido existentes en una carretera, limitando el uso de la medición directa a la corroboración de los valores predichos.

Organizaciones nacionales e internacionales regulan los métodos de medición utilizados para determinar las características acústicas específicas de los materiales de las fachadas. La capacidad fonoaislante y fonoabsorbente de los materiales, se calcula mediante ensayos realizados en cámaras sin resonancia, ya que las mediciones en campo abierto no han resultado ser eficaces ni los resultados precisos.

3.2.1 Metodologías

Las mediciones se realizan fundamentalmente con los siguientes propósitos:

- Determinar los niveles de ruido en una zona para la identificación de situaciones no deseadas.
- Comparar las variaciones del entorno en los niveles de ruido.
- Comparar los niveles antes y después de la construcción de la carretera.
- Estimar la eficacia de medidas anti-ruido aplicadas.

La medición del ruido al igual que otro tipo de mediciones, está fuertemente influenciada por la precisión y los objetivos que se pretendan conseguir con su realización.

La precisión de un resultado medido es un concepto común en cualquier tipo de metodología, pero escasamente aplicado a la medición del ruido, no siendo por ello menos importante.

La expresión de un resultado va acompañada de un $\pm C$, siendo C el valor de la incertidumbre, que refleja la validez y la aplicación de ese resultado; la ausencia de ese término adicional, implica una falta de representatividad y por lo tanto una limitación en el empleo del resultado.

La precisión de una medición depende de 4 factores:

- La instrumentación empleada.

- Las características del foco medido.
- La propagación del sonido.
- El número de mediciones.

El primer factor dependerá de la calidad utilizada, de su estudio de calibración y mantenimiento, a una mayor precisión en la instrumentación habrá menores incertidumbres en el resultado obtenido.

Las características del foco medido tienen una fuerte incidencia en la medición, tanto en la precisión como en el método de medida a aplicar, un foco continuo y uniforme será fácil de medir, exigirá mediciones de menor duración y permitirá obtener incertidumbres bajas; sin embargo, focos muy variables y aleatorios llevarán ligada la incertidumbre del resultado obtenido además de exigir mediciones más largas.

En lo que respecta a la propagación del sonido, la incertidumbre se puede valorar cuando existen condiciones en las que la propagación es más uniforme, esto sucede cuando las condiciones meteorológicas, viento y gradiente térmico con el suelo, garantizan que los rayos sonoros se propagarán formando una curva hacia abajo, es decir, condiciones equivalentes a las de propagación a favor del viento; esto se puede observar en distancias superiores a 50 metros o inferiores cuando la propagación es muy cercana al suelo.

Por lo general la desviación de una medida del ruido es el resultado de las desviaciones en la instrumentación, variabilidad del foco y condiciones meteorológicas.

La incertidumbre de una medida se definirá por la desviación resultante y el número de mediciones que se realicen, disminuyendo la incertidumbre al aumentar el número de mediciones.

Se pueden distinguir de acuerdo al grado de precisión tres tipos de mediciones:

- **Mediciones Orientativas.** Son en las que la incertidumbre del resultado no se puede valorar y será siempre claramente superior a ± 5 dB, por lo que su representatividad es mínima y sólo sirve para orientarnos respecto a los niveles de ruido reales.
- **Monitoreo.** Consiste en mediciones de larga duración mediante sistemas de medición continua; unidos a sistemas de medida de las condiciones meteorológicas, dirección y velocidad del viento y gradiente térmico, permiten efectuar mediciones de incertidumbre controlada. Si esto no se puede hacer, en su lugar se harán un promedio de mediciones bajo diferentes condiciones meteorológicas.
- **Mediciones bajo condiciones controladas.** Son en las que se utiliza una instrumentación de precisión adecuada, las características del foco son continuas, existe una propagación del sonido uniforme y el número de mediciones es suficiente, durante intervalos representativos del foco y con una duración suficiente (se recomienda no menor de 10 minutos) para cada situación a caracterizar y permiten atribuir un cierto grado de incertidumbre al resultado; en estas condiciones y con una sola medición se pueden lograr para focos estables incertidumbres entre 3 y 5 dB en función de la distancia.

Es difícil diseñar metodologías universales de medición del ruido en el exterior, situaciones diferentes requieren diferentes metodologías; como regla general, se acepta

que la utilización de intervalos mínimos diseñados para situaciones estándar conocidas, puede no ser suficiente para lograr una adecuada evaluación cuando esos intervalos se aplican a otras situaciones, lo que constituye desafortunadamente la práctica más común.

Durante la medición del ruido se deben observar las siguientes precauciones para garantizar la precisión y fiabilidad de las mediciones:

- Revisar regularmente los instrumentos (de ser posible una vez por año).
- Calibrar los instrumentos antes y después de su uso.
- Registrar las condiciones meteorológicas durante las mediciones (velocidad del viento, humedad, etc.), para aceptar o rechazar los resultados.
- Evitar llevar a cabo mediciones bajo condiciones excepcionales, la lluvia y el viento pueden provocar diferencias de hasta 10 dB entre el ruido emitido y el medido.
- Se recomienda que las mediciones no se realicen si la velocidad del viento en el micrófono excede los 5 m/seg (18 km/h).
- La superficie del pavimento debe estar seca.
- Evitar la presencia en las cercanías del micrófono de personas que puedan obstaculizar las mediciones, la persona que lleva a cabo las mediciones deberá colocarse donde no influya en las lecturas.

3.2.2 Instrumentos de medición

Los índices más comúnmente usados para la evaluación del ruido generado por los vehículos que circulan por una carretera son el Nivel de Presión Sonoro Continuo Equivalente (Leq) y los índices estadísticos, expresados en decibelios Tipo A [dB(A)].

Existe una amplia gama de instrumentos sonoros diseñados para realizar mediciones largas y cortas, portátiles o fijas, que proporcionan un gran número de índices del ruido (Leq, L_{máx}, L_{min}, LN, Histogramas y otros), estos instrumentos pueden ser útiles en el proceso de tratamiento de datos.

El ruido varía a lo largo del tiempo, por lo que los instrumentos de medición más útiles son aquellos sistemas preparados para una medición continua de Leq.

Los sonómetros se clasifican en nuestro país, dependiendo de su grado de precisión, en dos clases diferentes:

- Sonómetros para usos generales
- Sonómetros de precisión

Las normas Mexicanas NMX-AA-047-1977 y la NMX-AA-059-1978, presentan los requisitos que deben reunir los sonómetros. Para la determinación del ruido generado por las carreteras, deben usarse sonómetros de precisión.

Un sonómetro de precisión se halla compuesto por:

- Micrófono

- Amplificador

- Redes de ponderación

- Atenuador

- Instrumento indicador

Un micrófono es básicamente un sensor que puede medir pequeñas variaciones de la presión usando como referencia la presión atmosférica.

Un amplificador es un dispositivos electrónico que permite elevar la potencia de una señal electromagnética.

Las redes de ponderación son mallas electrónicas que permiten sopesar una señal electromagnética con valores fijos especificados, de acuerdo con la frecuencia de la señal.

Un atenuador es un dispositivo electrónico que permite reducir la potencia de una señal electromagnética.

El Instrumento indicador es un traductor que transforma una señal electromagnética en un giro mecánico de una aguja, que se desplaza angularmente con resistencia controlable sobre una carátula graduada.

Las características deseables con que debe contar un sonómetro de precisión se indican a continuación:

- El micrófono debe ser del tipo omnidireccional, su sensibilidad no debe exceder en más de ± 0.5 dB para una variación del 10% de la presión estática.
- El instrumento indicador debe seguir la ley cuadrática, graduarse en divisiones de 1dB y contar con la opción de integración rápida y lenta.
- El fabricante debe especificar el ámbito de temperatura para el cual la calibración de todo el aparato, incluyendo el micrófono, no es afectada en más de 0.5 dB y si es mayor, debe especificar la correcciones que deben aplicarse.
- El fabricante debe especificar el ámbito de humedad dentro del cual debe operar el aparato incluyendo el micrófono, cualquier efecto ocasionado por la humedad relativa entre 0 y 90% debe ser menor de 0.5 dB.
- El amplificador debe poseer una capacidad de potencia de cuando menos 12 dB mayor que la correspondiente a la lectura máxima del instrumento indicador.

3.2.3 Tiempo e intervalos

Los niveles de ruido debidos a la operación del transporte en las carreteras varían espacial y cronológicamente; deben emplearse técnicas de muestreo estadístico a fin de obtener una definición precisa del medio ambiente acústico de una zona determinada.

Es necesario distinguir entre las mediciones realizadas para una evaluación aproximada y las que se realizan para una evaluación detallada de aspectos específicos; las últimas son necesarias cuando en determinadas situaciones se requiere del establecimiento de niveles de ruido precisos, cuando ha de evaluarse la eficacia de las acciones anti-ruido

y finalmente cuando las mediciones han de realizarse en puntos de referencia importantes.

Se eligen diferentes intervalos dependiendo de los objetivos perseguidos y de las características de la circulación. En la elección de los períodos de medida, existen varias tendencias:

- Encontrar las horas de mayor tránsito y medir para obtener el valor medio de ese período.
- Medir durante el tiempo correspondiente al paso de al menos un cierto número de vehículos ligeros y/o pesados y considerar los resultados obtenidos como la energía sonora característica de la carretera.
- Medir durante largos períodos (más de 24 horas).

Generalmente los períodos de medición deben ser tan largos como sea necesario, para determinar el comportamiento del ruido durante un día, una semana o una estación, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas de la zona.

El tiempo de medición no tiene límite; sin embargo, como deben realizarse con frecuencia estudios y evaluaciones en períodos cortos de tiempo, se han establecido en otros países intervalos de tiempo de medición mínimos, que dependen del propósito de la evaluación.

El método de medición nórdico NORDEST (Dinamarca, Noruega, Finlandia y Suecia) recomienda un intervalo mínimo de 15 minutos o de 500 vehículos circulando durante el día. Los niveles nocturnos normalmente se calculan partiendo de mediciones obtenidas durante el día, sobre la base de los datos que proporciona la intensidad del tránsito. En E.U.A. son típicos los períodos de 15 minutos de tiempo en la hora de más ruido; no

obstante, se realizan mediciones de hasta 24 horas en caso de no existir la información necesaria para identificar la hora de más ruido. En Austria, el tiempo de medición depende de la distribución del tránsito, siendo el período característico un intervalo de 30 minutos. En Holanda, el intervalo mínimo es de 10 minutos o el paso de 100 vehículos. En Japón, para condiciones típicas de ruido debe realizarse al menos una medición durante cada uno de los siguientes períodos: mañana, mediodía, tarde y noche.

Cuando no se conoce la distribución de la circulación, deben hacerse mediciones de hasta 24 horas para evaluar adecuadamente el Leq del día y los niveles de ruido nocturnos; si se conocen los datos de circulación, pueden seleccionarse intervalos más breves, pero el período de medición mínimo aceptable es de 15 minutos.

La evaluación del ruido producido en las carreteras que sufren importantes variaciones estacionales en los volúmenes del tránsito, debe realizarse teniendo en cuenta niveles de ruido estacionales altos.

3.2.4 Puntos de medición

El número y situación de los puntos de medición necesarios para identificar el sonido medioambiental de una zona, depende del tipo de mediciones que se vayan a realizar.

Los criterios de selección de los puntos de medición pueden resumirse en dos:

- Seleccionar puntos en donde sea probable que el ruido pueda perturbar a la población.
- Seleccionar los puntos que sean representativos de las diferentes situaciones y condiciones de la zona.

El primer criterio se relaciona principalmente con la identificación de puntos negros y con la cuantificación del nivel de ruido en las zonas donde se construyen carreteras y éstas son transitadas; en estos casos, los puntos seleccionados deben representar las condiciones de exposición al ruido del mayor número posible de personas.

Los puntos importantes no son necesariamente aquéllos que presentan niveles de ruido más elevados, sino que son los puntos exteriores de los edificios que están más cerca de la carretera, tomados a diferentes alturas.

Las mediciones deberán hacerse a 1.5 metros sobre el nivel del eje de la carretera y a 7.5 metros del hombro o acotamiento.

Cuando las actividades humanas se realizan en zonas abiertas (jardines, senderos, campos de deporte, etc.), los puntos de medición deben situarse donde se puedan obtener los niveles de ruido más elevados.

El segundo criterio se aplica tanto a situaciones existentes como a los lugares donde próximamente se construirá una carretera y se relaciona con la distribución en el espacio de los niveles de ruido de la zona.

La selección de puntos representativos nos lleva a la determinación de sectores o tramos homogéneos, que incluyan carreteras y puntos de recepción. En la práctica el procedimiento más eficaz consiste en dividir la zona en sectores, en donde la emisión de sonido pueda considerarse constante y donde el proyecto geométrico de la carretera y las características topográficas no experimenten cambios importantes.

Las políticas de lucha contra el ruido buscan en general el cumplimiento de un doble objetivo: la recuperación o corrección de ambientes sonoros degradados y evitar la creación de nuevas situaciones no deseadas. Este doble objetivo se traduce en la creación de dos políticas distintas, la “Voluntarista” y la “Planificadora”, basadas en actuaciones a largo plazo realizadas bajo un control centralizado; aún cuando ambas se incluyan en una misma reglamentación general, son muy diferentes en cuanto a sus objetivos y cumplimiento.

La política voluntarista plantea la necesidad de corregir el impacto acústico en situaciones ya establecidas, donde las posibilidades de actuación son muy limitadas, abordando el problema del ruido como una actuación a favor del medio ambiente y de la calidad de vida.

Esta política recomienda la adopción de unos límites que deben ser considerados como objetivos de planes y programas de lucha contra el ruido, de manera que las distintas administraciones implicadas los adopten como referencia, estos objetivos deben ser graduales, de modo que puedan ir adaptándose a los distintos avances de las políticas de lucha contra el ruido e irse modificando en función de las demandas sociales.

La política voluntarista es llevada a cabo en países como Australia, Francia, Alemania, España y Estados Unidos y consiste en la descentralización de las actividades, esporádicas intervenciones en las situaciones más críticas, campañas de información al público destinadas a promover su correcto comportamiento, incentivos para que los fabricantes de automóviles los hagan más silenciosos, así como incentivos y control del mercado de vehículos de transporte de pasajeros y de carga.

La política planificadora toma en cuenta las infraestructuras o actividades que se encuentran en la fase de planeación. La manera de abordar las exigencias de unos

límites determinados es mediante el establecimiento de condicionantes claras, precisas y en cierto modo estrictas, que tienen la finalidad de no permitir la creación de situaciones no deseadas.

Los límites son obligatorios en la política planificadora y son necesarios en la planeación y construcción para asegurar que no se superen los niveles considerados como mínimos para una cierta calidad del ambiente sonoro. Las normas que establecen estas limitaciones deben incluir los procedimientos y mecanismos necesarios para hacer efectivo su cumplimiento, de manera que pueda exigirse a los responsables de la planeación que incorporen en sus diseños las medidas adecuadas para conseguir los objetivos marcados en la normativa de ruido.

Esta política se caracteriza por la realización de planes a largo plazo, encaminados a que la exposición al ruido en el interior de los edificios quede por debajo de los límites autorizados preestablecidos, estos programas son generalmente dirigidos por un organismo central que se ocupa de las medidas a adoptar, tanto en las carreteras como en los edificios.

Países como Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Noruega y Suiza cuentan con políticas planificadoras como son el Plan de Acción Danesa en el Transporte para el Medio Ambiente y Desarrollo, que tiene como objetivo reducir a menos de 65 dB(A), a 100,000 casas de aquí a 2010; la Declaración del Parlamento Austriaco, cuya meta es lograr 65 dB(A) durante el día y 55 dB(A) durante la noche para todas las carreteras federales antes del año 2003; el Segundo Plan Estructural Holandés para el Tránsito y el Transporte, que tiene por objeto que en el año 2010 el número de casas con más de 55 dB(A) medidos durante 24 horas en fachada, sea solamente la mitad de las que existían en 1986 y la Ordenanza Federal Suiza de 1986 con el cumplimiento de límites legales en 2002.

Existe una gran dificultad en demostrar cuál de las dos políticas es más eficaz; se puede observar que la política voluntarista puede conducir a menudo a un estado de acciones “in situ”, mientras que el punto de vista planificador obliga a la realización de acciones importantes cuyo costo es muy elevado.

Cuando se adoptan las políticas planificadoras para realizar las actuaciones necesarias, los recursos económicos son generalmente obtenidos por medio de impuestos aplicados a los combustibles (Suiza y Holanda), de tal forma que se dispone de unos ingresos que son más o menos proporcionales a los niveles de ruido de la circulación.

La política voluntarista se fundamenta en los recursos económicos del estado, que pueden variar de un año a otro en función de consideraciones económicas y políticas.

Se ha observado que las reglamentaciones y las políticas anti-ruido son más respetadas y aplicadas, cuando una partida económica específica se destina a la reducción del ruido y los procedimientos para la obtención de los recursos financieros necesarios han sido previamente establecidos.

4.1 Límites Admisibles de Ruido

El establecimiento de límites de ruido en las proximidades de las carreteras ha de basarse en los efectos que el ruido tiene sobre el ser humano y sus actividades, mediante el uso de parámetros capaces de representar esta relación; si estos parámetros son efectivos, todas las acciones anti-ruido serán percibidas positivamente y apoyadas por la población; de igual forma, será posible fijar límites de exposición al ruido sopesando los aspectos económicos y técnicos, junto al umbral de molestia previamente examinado y fijado.

Para poder fijar límites del ruido, se requiere de la determinación de los siguientes parámetros:

- **Índice de referencia.** En general el índice más utilizado en carreteras, ferrocarriles y aeropuertos es el “nivel continuo equivalente” Leq , (medido en decibelios A).
- **Intervalo de tiempo de referencia.** El período de referencia varía según los países, algunos utilizan un único período de 24 horas, introduciendo correcciones en los niveles nocturnos. Otros países distinguen un período diurno y otro nocturno de extensión variable, en función de las características socioculturales de cada país. Existe una tendencia a considerar incluso 3 o más períodos diferentes.
- **Valor de los límites.** De un modo general, se acepta en la mayoría de los países como límites de la calidad ambiental de referencia los valores en términos de Leq de 65 dB(A) para el período diurno y 55 dB(A) para el nocturno, medidos en el exterior de las fachadas de los edificios; sin embargo, estos valores varían en función de las actividades de la zona, existiendo una tendencia general a considerar valores más estrictos para áreas sensibles al ruido (hospitales, algunas actividades educativas y de ocio, etc.)
- **Otros criterios.** Algunos países han introducido en su normatividad, además de unos límites absolutos de ruido, los denominados criterios de emergencia por los que se limita el aumento de los niveles de ruido; en este caso, además de los límites clásicos, la aceptación de los niveles de ruido actuales depende de los niveles de ruido anteriores a la entrada en funcionamiento de la carretera.

La mayor parte de los países han fijado valores límite permisibles para la contaminación producida por el ruido.

Algunos países como Dinamarca, Finlandia y Noruega realizan nuevos estudios del impacto ambiental debido al ruido, con el objeto de obtener una más adecuada comprensión de la relación que existe entre el ruido producido por la operación del transporte en las carreteras y el efecto que tiene sobre la población, para el establecimiento de valores límite de emisión de ruido que respondan satisfactoriamente a las necesidades humanas.

La mayor parte de los países desarrollados, cuenta con estadísticas de la población afectada por el ruido de acuerdo al grado de molestia, por lo que con frecuencia se establece un valor límite durante el día que corresponde a un porcentaje de entre el 10 y el 25% de personas muy molestas por el ruido.

4.2 Normatividad en México

Existe en México, desde 1982, el Reglamento para la Protección del Ambiente Originado por la Contaminación por Ruido; en 1994 se actualizaron y generaron nuevas normas para el control del ruido, con ciertas limitaciones, ya que sólo contemplan el ruido que produce el escape de un vehículo individual, con su peso bruto vehicular y el motor funcionando en vacío bajo condiciones controladas, pero no regulan el ruido generado por la operación global del transporte sobre las carreteras a velocidades reales, involucrando el motor, escape, mecanismos del vehículo y contacto entre llantas y pavimento. En estas normas se indica que las fuentes artificiales emisoras de ruido, no deben de rebasar los niveles máximos permisibles.

Se define como fuente fija toda instalación establecida en un solo lugar que tenga como finalidad desarrollar actividades industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Se define como fuente móvil a helicópteros, aviones, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria con motores de combustión y similares.

Las Normas Oficiales Mexicanas para el Control del Emisión de Ruido que se encuentran en vigor son:

NOM-079-ECOL-1994 Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores **nuevos** en planta, expresados en dB(A) y su método de medición conforme a su peso bruto.

En esta Norma, se hace transitar a cada vehículo nuevo en una zona abierta con dimensiones mínimas de 60 m, plano, nivelado y libre de superficies reflejantes, con una superficie de rodamiento asfaltada de al menos 6 m de ancho y 100 m de largo.

Se aproxima el vehículo al punto de aceleración a una velocidad de 50 Km/h a una relación de engranes previamente seleccionada y se acelera al máximo cuando el frente de la unidad se encuentre sobre el punto de aceleración (7.5 m antes de la posición del micrófono) hasta que el vehículo se encuentre a una distancia mayor de 38 m, cuidando de no exceder las rpm máximas del motor recomendadas por el fabricante.

Como se aprecia, la unidad se hace circular bajo condiciones controladas, ya que además restringe el número de personas que puedan encontrarse dentro del área de medición, no permite que se encuentren obstáculos dentro de la misma y el viento no debe de sobrepasar los 19 Km/h. En la Tabla 4.1 se pueden apreciar los valores de la Norma.

PESO BRUTO VEHICULAR (Kg)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DB(A)
Hasta 3,000	79
Más de 3,000 y hasta 10,000	81
Más de 10,000	84

Tabla 4.1 Límites establecidos por la NOM-079-ECOL-1994 de acuerdo al Peso Bruto Vehicular

NOM-080-ECOL-1994 Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del **escape** de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, expresados en dB(A) y su método de medición, de acuerdo al peso bruto vehicular o al desplazamiento del motor en centímetros cúbicos.

En esta Norma, el lugar de medición debe tener recubierta la superficie del piso con asfalto, cemento u otro material duro y no existir superficies reflejantes dentro de los 3 m del contorno perimetral del vehículo a medir.

Con el vehículo estacionado en el lugar de medición y el motor funcionando en marcha lenta en vacío (sin aceleración), se coloca el micrófono a una distancia de 1 m de la salida final del escape, formando un ángulo de 45° con el eje longitudinal del mismo y por la parte exterior de la unidad a una altura no inferior de 0.5 m del piso o conforme a la posición de la salida del escape con respecto al nivel del piso.

Se acelera el motor, sin brusquedad, hasta obtener 2,500 r.p.m. \pm 100 r.p.m. tomando el nivel sonoro en esa condición y repitiendo el procedimiento en dos ocasiones adicionales.

Posteriormente se realizan una serie de cálculos para determinar el nivel de ruido del escape del vehículo.

Los límites máximos permisibles de los automóviles, camionetas y tractocamiones que son expresados de acuerdo a su peso bruto vehicular, se pueden apreciar en la Tabla 4.2.

PESO BRUTO VEHICULAR (Kg)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DB(A)
Hasta 3,000	86
Más de 3,000 y hasta 10,000	92
Más de 10,000	99

Tabla 4.2 Límites establecidos por la NOM-080-ECOL-1994 de acuerdo al Peso Bruto Vehicular

Los límites máximos permisibles de motocicletas y triciclos motorizados que son expresados de acuerdo a la capacidad de desplazamiento del motor medido en centímetros cúbicos, se pueden apreciar en la Tabla 4.3.

DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR EN CENTÍMETROS CÚBICOS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES dB(A)
Hasta 449	96
De 450 en adelante	99

Tabla 4.3 Límites establecidos por la NOM-080-ECOL-1994 de acuerdo al Desplazamiento del Motor

NOM-081-ECOL-1994 Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina el nivel emitido al ambiente.

En esta Norma se llevan a cabo una serie de trabajos previos para determinar las zonas críticas donde se genera los mayores niveles de ruido. Posteriormente, dentro de éstas, se definen 5 puntos distribuidos en forma aleatoria a 0.30 m de la distancia límite de la fuente y a no menos de 1.20 m del nivel del piso.

Durante el lapso de emisión máxima se elige un período no inferior de 15 min. para la medición continua o 25 lecturas para medición semicontinua, usando la ponderación A.

Se mide el ruido de fondo de acuerdo a un procedimiento específico y finalmente se llevan a cabo una serie de cálculos para determinar el nivel sonoro equivalente del período de observación. En la Tabla 4.4 se presentan los valores de la Norma.

HORARIO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
6:00 hr a 22:00 hr	68 dB(A)
22:00 hr a 6:00 hr	65 dB(A)

Tabla 4.4 **Límites establecidos por la NOM-081-ECOL-1994 de acuerdo a la hora**

Para el caso específico de este trabajo, donde se analiza en el campo el ruido que genera la operación del transporte en la infraestructura carretera:

- a) Para efectos comparativos de los valores reales medidos en el campo, se toman condiciones similares a la de una fuente fija, por ser cada carretera una instalación establecida en un solo lugar, cuya finalidad es desarrollar actividades, que en este caso, por la operación del transporte, sí generan emisiones contaminantes a la atmósfera, como es el ruido.
- b) Para esos puntos o segmentos “fijos”, se mide, a diferencia de la Norma existente que sólo involucra el ruido del escape, parada la unidad y con motor andando, el

ruido global del vehículo a su velocidad de operación real, incluyendo motor, escape, mecanismos del vehículo y contacto entre llantas y pavimento.

NOM-082-ECOL-1994 Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición.

El procedimiento es similar al descrito para la NOM-079-ECOL-1994 de ruido de vehículos automotores en planta. En la Tabla 4.5 se muestran los valores correspondientes.

DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR EN CENTIMETROS CUBICOS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES dB(A)
Hasta 449	86
De 450 en adelante	89

Tabla 4.5 Límites establecidos por la NOM-082-ECOL-1994 de acuerdo al Desplazamiento del Motor

Las Normas Oficiales Mexicanas anteriores establecen los límites máximos de emisión de ruido permisibles para un solo vehículo, en función del peso bruto o del desplazamiento del motor en centímetros cúbicos, pero no para los vehículos que circulan por una carretera a lo largo de una franja de terreno y durante cierto período del día.

En la actualidad no existe una norma mexicana específica para la medición y el control del ruido generado por la operación del transporte en la infraestructura carretera, estando en elaboración en la mayoría de otros países.

4.3 Normatividad en otros Países

A nivel internacional, las reglamentaciones y normas existentes definen la forma de determinar las propiedades acústicas de los materiales, así como la metodología para medir los niveles sonoros producidos por la operación del transporte en las carreteras.

La mayoría de las normatividades existentes en los países desarrollados incluyen todos los modos de transporte, aunque en algunos países se dispone de una normatividad específica del ruido originado por ferrocarriles y aeropuertos.

Las diferencias en las normatividades de cada país en cuanto a los límites permisibles de ruido, intervalos a considerar y zonificación, tienen su origen en las características sociales y psicológicas de la población.

En todas las normatividades se hace una distinción entre las carreteras nuevas y las existentes, fijándose límites más rigurosos para las primeras como parte de una integración de las políticas Voluntarista y Planificadora.

Los diferentes índices de ruido utilizados por cada país, han sido considerados como los más representativos de las molestias producidas por el ruido de las carreteras. Se ha observado que un país puede adoptar más de un índice de ruido.

A continuación, se presentan las algunas normas fijadas por organizaciones y países.

4.3.1 Límites de la OMS, OCDE, CCE y DGXI

La Organización Mundial de la Salud (OMS), trabajando en conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, ha recomendado valores límites de emisión de ruido de acuerdo al lugar y hora de exposición, basándose en los múltiples efectos que el ruido tiene sobre la salud.

En el caso de un ambiente laboral, el tiempo de exposición máximo no deberá exceder de 8 horas, si el nivel sonoro es mayor que el recomendado, el tiempo de exposición disminuirá en función del incremento.

En la Tabla 4.6 se muestran los valores límites recomendados por la OMS, los cuales fueron respaldados por investigaciones realizadas por diversos países y organizaciones.

TIPO DE AMBIENTE	Leq dB(A)
Laboral	75
Doméstico, auditorio, aula	45
Dormitorio	35
Exterior diurno	55
Exterior nocturno	45

Tabla 4.6 Límites recomendados por la OMS

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), teniendo en cuenta el nivel actual de conocimientos técnicos y las implicaciones económicas de las políticas contra el ruido originado por la operación del transporte en las carreteras, propone algunas indicaciones generales relativas a los límites aceptables de ruido a mediano plazo (objetivos para los años 2005-2010), que pueden verse en la Tabla 4.7.

NIVELES ACEPTABLES PROPUESTOS POR LA OCDE (Leq, Límites en fachadas)			
Leq (día)		Leq (noche)	
Carretera nueva	Carretera existente	Carretera nueva	Carretera existente
60+/-5 dB(A)	65+/-5 dB(A)	50-55 dB(A)	55-60 dB(A)

Tabla 4.7 Límites fijados por la OCDE a mediano plazo

Los límites relativos al nivel de ruido propuesto por la OCDE son coherentes con los establecidos por la Comisión de la Unión Europea (CCE y DGXI). En la Tabla 4.8 se presentan estos límites.

LÍMITES QUE ASEGURAN UNA PROTECCIÓN SATISFACTORIA A LAS PERSONAS EXPUESTAS AL RUIDO (SEGÚN LA CCE, DGXI) (Leq, Límites en fachadas)			
Leq (día)		Leq (noche)	
Carretera nueva	Carretera existente	Carretera nueva	Carretera existente
57/68 dB(A)	65/70 dB(A)	47/58 dB(A)	57/62 dB(A)

Tabla 4.8 Límites establecidos por la Comisión de la Unión Europea

4.3.2 Normatividad Japonesa

En Japón existe una Ley General de Contaminación que está en funcionamiento desde 1967 y una ley específica de control del ruido desde 1986.

En esta normatividad se distinguen tres períodos de medición:

- Período diurno normal (Daytime).

- período nocturno (Night).
- Períodos intermedios (Morning, Evening).

El Índice de referencia utilizado es el L50 del período considerado.

En esta normatividad, el límite de ruido máximo permisible se asigna de acuerdo a la función de la zona que da a la carretera y al número de carriles con que cuente. Las zonas que dan a la carretera se pueden clasificar como:

- **Zona A.** Zonas de uso residencial, áreas de hospitales, hoteles, etc.
- **Zona B.** Zonas de servicios públicos.

En la Tabla 4.9 se presentan estos valores límites.

CLASIFICACIÓN DEL ÁREA	PERÍODO DE TIEMPO		
	Día	Mañana, Tarde	Noche
Zona A cerca de carreteras de 2 carriles	<55 dB(A)	<50 dB(A)	<45 dB(A)
Zona A cerca de carreteras de 3 o más carriles	<60 dB(A)	<55 dB(A)	<50 dB(A)
Zona B cerca de carreteras de 1 o 2 carriles	<65 dB(A)	<60 dB(A)	<55dB(A)
Zona B cerca de carreteras de 2 o más carriles	<65 dB(A)	<65dB(A)	<60dB(A)

Tabla 4.9 Límites de ruido establecidos en Japón

4.3.3 Normatividad Finlandesa

Existe una Legislación desde 1987, donde se distinguen dos períodos de medición:

- Período diurno (7hr – 22 hr).
- Período nocturno (22 hr – 7 hr).

El índice de referencia utilizado es el Leq del período considerado.

En la normativa finlandesa, a una franja de territorio unido a la carretera se le da una categoría de acuerdo a la función que tiene y con ella ciertos valores límite de emisión de ruido. En la Tabla 4.10 se pueden observar los valores límite en exteriores y en la Tabla 4.11 se presentan los valores límite en interiores.

ÁREA	VALORES LÍMITE EN EXTERIORES (Leq)	
	Día (7 hr – 22 hr)	Noche (22 hr – 7 hr)
Áreas existentes de tipo residencial, servicios públicos y recreativos	55 dB(A)	50 dB(A)
Áreas nuevas tipo residencial, servicios públicos y recreativos	55 dB(A)	45 dB(A)
Áreas vacacionales, recreativas naturales y similares	45 dB(A)	40 dB(A)

Tabla 4.10 Límites de ruido establecidos en Finlandia en exteriores

FUNCIÓN	VALORES LÍMITE EN INTERIORES, Leq	
	Día (7 hr – 22 hr)	Noche (22 hr – 07 hr)
Residencial, hospitales y hoteles	33 dB(A)	30 dB(A)
Escuelas, salas de reuniones	35 dB(A)	No definido
Oficinas, servicios comerciales	45 dB(A)	No definido

Tabla 4.11 Límites de ruido establecidos en Finlandia en interiores

4.3.4 Normatividad Francesa

Existe la Ley No 92-1444 del 31 de Diciembre de 1992 relativa a la lucha contra el ruido, desarrollada posteriormente por un Decreto del 9 de Enero de 1995. Se distinguen dos períodos de medición:

- Período diurno (6 hr – 22 hr).
- Período nocturno (22 hr – 6 hr).

El índice de referencia utilizado es el Leq del período considerado.

El valor de emisión límite de ruido depende del uso que se le dé al edificio cercano a la carretera, en la Tabla 4.12 se presentan estos valores.

USO Y NATURALEZA DE LOS EDIFICIOS	DÍA, Leq (6 hr – 22 hr)	NOCHE, Leq (22 hr – 6 hr)
Establecimiento de sanitarios y de acción social	60 dB(A)	55 dB(A)
Establecimientos de enseñanza (con exclusión de talleres ruidosos y locales deportivos)	60 dB(A)	No definido
Viviendas en zonas de ambiente sonoro moderado	60 dB(A)	55 dB(A)
Otras viviendas	65 dB(A)	60 dB(A)
Locales de oficina en zonas de ambiente sonoro moderado	65 dB(A)	No definido

Tabla 4.12 Límites de ruido establecidos en Francia

4.3.5 Normatividad de Estados Unidos

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) estableció a principios de 1970 la Oficina para el Control y Abatimiento del Ruido (ONAC) que funcionó hasta 1983; sin embargo, no promulgó un nivel de ruido estándar aceptable, pero fue una guía para las regulaciones desarrolladas por los gobiernos locales y estatales.

A nivel estatal, la responsabilidad primaria en la regulación del ruido quedó a cargo de la Agencia de Control de Contaminación (PCA), que desarrolló regulaciones del ruido ambiental en respuesta al mandato de la EPA.

La FHWA (Federal Highway Administration) utiliza como período de medición la hora más ruidosa.

El índice de referencia utilizado es el Leq y el L10 del período considerado, para proyectos de abatimiento del ruido en carretera.

Las zonas se clasifican en A, B, C, D y E y se les da un valor de emisión de ruido límite de acuerdo a la actividad que en ellas se realiza, véase la Tabla 4.13.

ACTIVIDAD	Leq (h)	L10 (h)
A. Zonas en las que la calma tiene una extraordinaria importancia y responden a una necesidad pública y donde la preservación de estas cualidades es esencial.	57 dB(A) (Exterior)	60 dB(A) (Exterior)
B. Zonas de ocio, de juego, deportivas, parques, residencias, moteles, hoteles, escuelas, iglesias, bibliotecas y hospitales.	67 dB(A) (Exterior)	70 dB(A) (Exterior)
C. Urbanizaciones y actividades no incluidas en las categorías A o B.	72 dB(A) (Exterior)	75 dB(A) (Exterior)
D. Zonas no urbanizadas o no desarrolladas.	No definido	No definido
E. Zonas de ocio, de juego, deportivas, parques, residencias, moteles, hoteles, escuelas, iglesias, bibliotecas y hospitales.	52 dB(A) (Interior)	55 dB(A) (Interior)

Tabla 4.13 Límites de ruido establecidos en Estados Unidos

4.3.6 Normatividad Española

El Ministerio de Medio Ambiente ha elaborado un borrador de lo que será la Ley de Protección contra la contaminación acústica, que pretende alcanzar una serie de objetivos de calidad sonora.

Esta Ley incluiría una clasificación del terreno de acuerdo a su uso en 7 áreas acústicas, un catálogo de actividades potencialmente contaminadoras por ruidos y vibraciones y la adopción paulatina de medidas correctoras en todas aquellas situaciones actuales en las que no se cumplan los criterios contenidos en la misma.

A pesar de que no existe una ley que limite el ruido producido por los vehículos que circulan por una carretera, la Dirección General de Carreteras actúa como si la hubiera, por lo que en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente han establecido niveles máximos de emisión de ruido similares a los de países Europeos, estos valores se presentan en la Tabla 4.14.

Se clasifican las zonas en tres de acuerdo a su función y se distinguen dos períodos de medición que son:

- Período diurno (8-23 hr).
- Período nocturno (23-8 hr).

El índice de referencia utilizado para describir las molestias del ruido sobre la población es el Leq del período considerado.

ZONA	VALORES LÍMITE, Leq	
	Día (8 hr – 23 hr)	Noche (23 hr – 08 hr)
Zonas residenciales	65 dB(A)	55 dB(A)
Zonas hospitalarias	55 dB(A)	45 dB(A)
Zonas comerciales e industriales	75 dB(A)	75 dB(A)

Tabla 4.14 Límites de ruido establecidos en España

4.3.7 Normatividad Chilena

El decreto supremo No. 146 del Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia de la República de Chile, establece la Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas, elaborada a partir de la revisión de la norma de emisión contenida en el decreto No. 286 de 1984 del Ministerio de Salud, y se encuentra en vigor desde el 16 de Julio de 1998.

Esta Norma cuenta con definiciones usadas en la acústica, límites de ruido máximo permisibles, instrumentos de medición, procedimientos de medición y vigencia.

Se distinguen dos períodos de medición:

- Período diurno (7 hr – 21 hr).
- Período nocturno (21 hr – 7 hr).

El índice de referencia utilizado es el Leq para el período considerado.

El límite de ruido máximo permisible se asigna de acuerdo al uso que se le de a cierta zona, quedando clasificadas como:

- **Zona I** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo al plan maestro corresponden a un uso: habitacional y de servicios a escala vecinal.

- **Zona II** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo al plan maestro corresponden a los indicados para la Zona I y además se permiten servicios a escala comunal y/o regional.
- **Zona III** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo al plan maestro corresponden a los indicados para la Zona II y además se permite industria inofensiva.
- **Zona IV** Aquella zona cuyos usos de suelo permitidos de acuerdo al plan maestro corresponden a un uso industrial, con industria inofensiva y/o molesta.

En la Tabla 4.15 se presentan estos valores límite.

ZONA	VALORES LÍMITE, Leq	
	Día (7 hr – 21 hr)	Noche (21 hr – 7 hr)
Zona I	55 dB(A)	45 dB(A)
Zona II	60 dB(A)	50 dB(A)
Zona III	65 dB(A)	55 dB(A)
Zona IV	70 dB(A)	70 dB(A)

Tabla 4.15 Límites de ruido establecidos en Chile

4.3.8 Normatividad de República Dominicana

Durante el mes de junio de 2001 la República Dominicana emitió las Normas Ambientales Sobre la Protección Contra Ruidos. En los estándares para la protección de ruidos se establecen los niveles máximos permitidos producidos por fuentes fijas y móviles que han de regir en todos los pueblos y provincias de la República Dominicana.

Las Normas de Ruido regulan de manera muy específica los niveles máximos [en decibeles dB(A)] de ruidos (períodos diurno y nocturno) permitidos, dependiendo de la zona clasificada donde se ubique la fuente receptora y la categoría específica ubicada dentro de esa zona.

Las Normas de Ruidos son tan amplias que inclusive regulan no sólo los niveles de ruido en el exterior de estructuras, sino también los niveles de ruido en áreas interiores de edificios, casas y cualquier estructura.

Las Normas de Ruido incluyen una tabla general donde se establecen los niveles de ruidos continuos y sus efectos en los seres humanos; ésta es la base de referencia para asignar a su vez los niveles máximos permitidos de ruido en las zonas específicas. (Ver Tabla 4.16).

GRADO DE RUIDO	EFEECTO EN HUMANOS	RANGO EN DB(A)	RANGO DE TIEMPO
A. Moderado	molestia común	50 a 65 40 a 50	diurno 7am-9pm nocturno 9pm-7am
B. Alto	molestia grave	65 a 80 50 a 65	diurno 7am-9pm nocturno 9pm-7am
C. Muy alto	riesgos	80 hasta 90	8 horas
D. Ensordecedor	Riesgos graves de perdición de audición	mayor de 90 hasta 140	por lo menos 8 horas

Tabla 4.16 Niveles de ruido establecidos en República Dominicana

Para la medición de emisiones de ruido del tráfico vehicular, las Normas de Ruido establecen un protocolo detallado de los equipos de medición requeridos, lugares de medición, criterios de medición de vehículo estacionado, vehículos acelerados a velocidad constante, vehículos en movimiento a una velocidad constante, vehículos que consumen diesel (gas oil) como combustible, mediciones de motocicletas, y requisitos para la expresión de resultados de las mediciones.

5 Principales Características de Veracruz

Con la finalidad de mostrar la importancia incuestionable que representa el estado de Veracruz para el desarrollo del país, a continuación se presentan las características relevantes en distintos rubros sociopolíticos y económicos.

5.1 Ubicación Geográfica

El estado de Veracruz se localiza al norte 22°28', al sur 17°09' de latitud norte; al este 93°36', al oeste 98°39' de longitud oeste ¹. Representa el 3.7% de la superficie del país².

Veracruz colinda al norte con Tamaulipas y el Golfo de México; al este con el Golfo de México, Tabasco y Chiapas; al sur con Chiapas y Oaxaca; al oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí.

La capital del estado es la ciudad de Xalapa. En la tabla 5.1 se presentan sus coordenadas geográficas

Cabecera	Latitud Norte		Longitud Oeste		Altitud
	Grados	Minutos	Grados	Minutos	
Xalapa-Enríquez	19	32	96	55	1,460

Tabla 5.1 **Coordenadas geográficas generales de la ciudad de Xalapa**

¹INEGI. Marco Geoestadístico, 2000.

²INEGI-DGG. Superficies Nacional y Estatales. 1999.

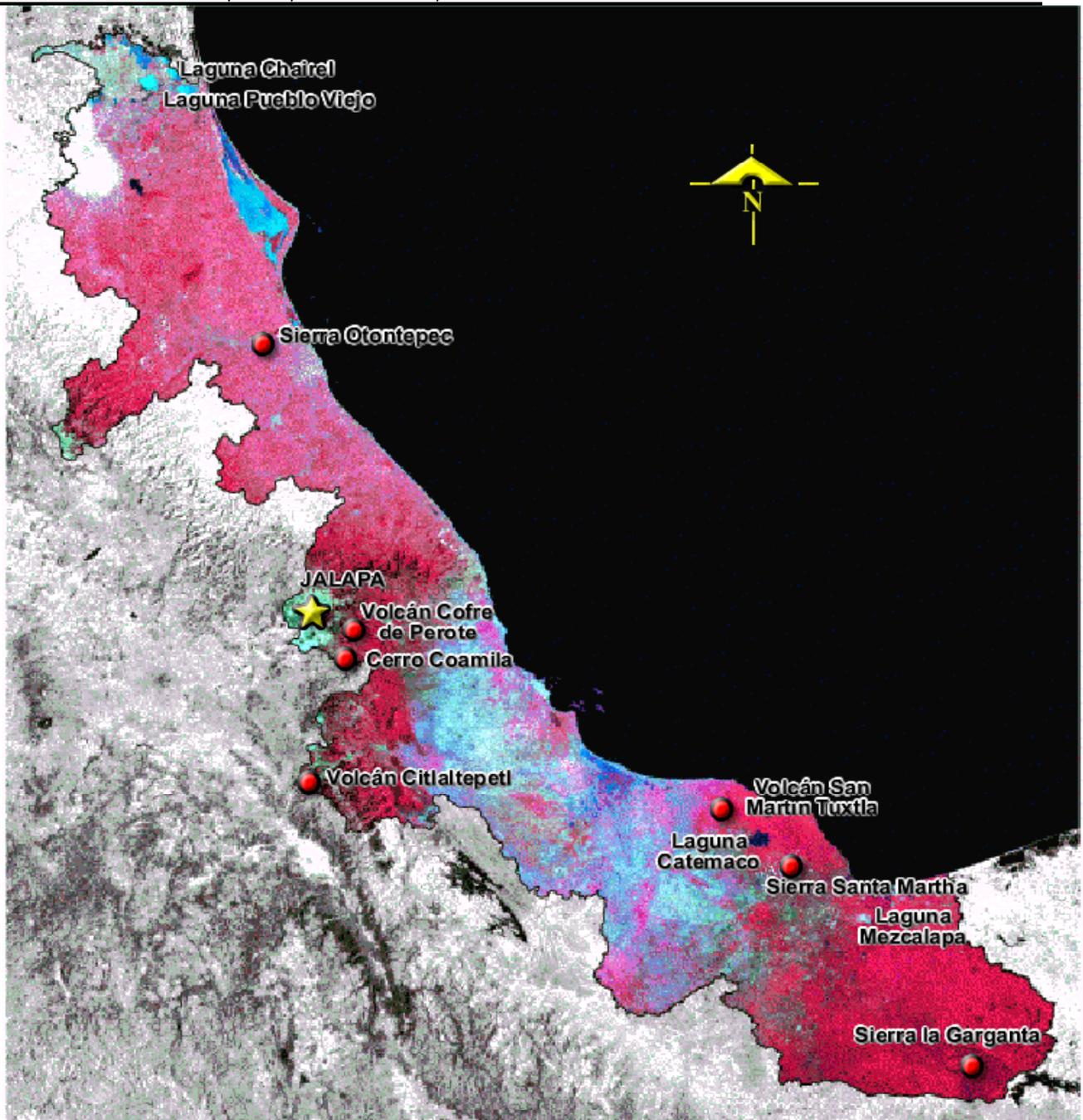


Figura 5.1 Ubicación geográfica del Estado de Veracruz

5 Principales Características de Veracruz

A continuación se enlistan algunos de los municipios más importantes del Estado de Veracruz en la tabla 5.2.

Clave	Municipio	Cabecera municipal
001	Acajete	Acajete
002	Acatlán	Acatlán
003	Acayucan	Acayucan
004	Actopan	Actopan
005	Acula	Acula
006	Acultzingo	Acultzingo
007	Camarón de Tejeda	Camarón de Tejeda
008	Alpatláhuac	Alpatláhuac
009	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	Alto Lucero
010	Altotonga	Altotonga
011	Alvarado	Alvarado
012	Amatitlán	Amatitlán
013	Naranjos Amatitlán	Naranjos
014	Amatlán de los Reyes	Amatlán de los Reyes
015	Angel R. Cabada	Angel R. Cabada
	Tlachichilco	Tlachichilco
181	Tlaxiaco	Tlaxiaco
182	Tlaxiaco	Tlaxiaco
183	Tlaxiaco	Tlaxiaco
184	Tlaxiaco	Tlaxiaco
185	Tlaxiaco	Tlaxiaco
186	Tlaxiaco	Tlaxiaco
187	Tlaxiaco	Tlaxiaco
188	Tlaxiaco	Tlaxiaco
189	Tlaxiaco	Tlaxiaco
190	Tlaxiaco	Tlaxiaco
191	Tlaxiaco	Tlaxiaco
192	Tlaxiaco	Tlaxiaco
193	Tlaxiaco	Tlaxiaco
194	Tlaxiaco	Tlaxiaco
195	Tlaxiaco	Tlaxiaco

196	Yanga	Yanga
197	Yecuatla	Yecuatla
198	Zacualpan	Zacualpan
199	Zaragoza	Zaragoza
200	Zentla	Colonia Manuel González
201	Zongolica	Zongolica
202	Zontecomatlán	Zontecomatlán de López y Fuentes
203	Zozocolco de Hidalgo	Zozocolco de Hidalgo
204	Agua Dulce	Agua Dulce
205	El Higo	El Higo
206	Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río	Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río
207	Tres Valles	Tres Valles
208	Carlos A. Carrillo	Carlos A. Carrillo
209	Tatahuicapan de Juárez	Tatahuicapan
210	Uxpanapa	La Chinantla

FUENTE: INEGI. Veracruz. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados Preliminares.

Tabla 5.2 **Municipios de Veracruz y sus cabeceras municipales correspondientes**

5.2 Climas

En el estado de Veracruz se presenta una gran variedad de climas, esto de acuerdo a la gran extensión superficial que posee. En la tabla 5.3 se presenta una lista y el porcentaje de la superficie del estado de los climas representativos.

La temperatura media anual registrada en la estación Xalapa para el período de 1920-1997 fue de 17,9 °C, siendo el año más frío 1931 con un promedio de 16,9 °C y el más caluroso 1975 con 19,0 °C en promedio.

5 Principales Características de Veracruz

La precipitación pluvial anual para la misma ciudad de Xalapa en el período de 1920-1997 es de 1, 460.9 mm en promedio, siendo el año más seco 1945 con 1, 076.0 mm y el más lluvioso 1952 con 2, 025.0 mm.

TIPO O SUBTIPO	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
Cálido húmedo con lluvias todo el año	4.31
Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano	27.76
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	52.30
Semicálido húmedo con lluvias todo el año	5.83
Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano	2.34
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	0.42
Templado húmedo con lluvias todo el año	2.34
Templado húmedo con abundantes lluvias en verano	2.13
Templado subhúmedo con lluvias en verano	1.49
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	0.14
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	0.41
Semiseco templado	0.51
Frío	0.02

Tabla 5.3 Climas del estado de Veracruz

5.3 Población

Con base en los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda del 2000, el estado de Veracruz tiene una población de 6,908,975 habitantes, de los cuales

el 48.6% es representado por la población masculina y el 51.4% por la población femenina. El estado de Veracruz ocupa el 3^{er} lugar nacional en cuanto a población.

5.4 Vivienda

Existen 1,597,311 viviendas habitadas en la entidad, que proporcionan alojamiento a más de 6 millones de habitantes, que en promedio da un hacinamiento de 5 personas por vivienda, cifra semejante al promedio nacional. Se considera que las condiciones de vivienda son un buen reflejo del nivel de satisfacción de las necesidades básicas de la población.

5.5 Infraestructura de Transporte

Carreteras

Entre las carreteras que destacan están: la federal de cuota No. 150, que recorre la distancia entre las ciudades de México, Puebla y Córdoba. Del Distrito Federal parte hacia suelo jarocho la carretera libre No. 150, que de la ciudad de Puebla sigue hacia Tecamachalco y de ahí penetra a Veracruz por la sierra de Acultzingo, se continúa por la zona conurbada de Ciudad Mendoza, Nogales, Río Blanco y Orizaba, en la que se le une la No. 123 con destino a Zongolica.

De noroeste a sureste, la carretera No. 180 pasa por zonas agrícolas, ganaderas e industriales de gran trascendencia, en las que se ubican las poblaciones de Pueblo Viejo, Ozuluama, Naranjos, Potrero de Llano, entre otras. En ella, además de la anterior, entroncan la mayoría de las carreteras que llegan a este estado provenientes de interior del país, como la federal No. 105, en el norte, mediante la cual se va de Pachuca, Hidalgo, a Tampico, Tamaulipas, entre otras.

La carretera No. 130 México-Poza Rica, antes de llegar a la ciudad petrolera pasa Pachuca y Tulancingo, Hidalgo, y por Huauchinango, Puebla.

5 Principales Características de Veracruz

En el centro del estado corre la carretera federal No. 140 que parte de Puebla y atraviesa por San Hipólito, San Salvador el Seco y Alchichica, Puebla, para llegar al puerto de Veracruz.

Ferrocarriles

A través de este medio de transporte se mueve una gran parte de la amplia gama de productos que es embarcada y desembarcada en los puertos de Veracruz y Coatzacoalcos. La red ferroviaria en el estado tiene una longitud de 16,890 km, distribuidos principalmente en la porción centro-sur.

El ferrocarril Transístmico, construido con la finalidad de comunicar al puerto de Coatzacoalcos, en el Golfo de México, con el de Salina Cruz, en el Océano Pacífico, penetra en territorio veracruzano por Jesús Carranza y hasta Coatzacoalcos. Aquí hace contacto con otra línea ferroviaria, cuyo destino es la península de Yucatán.

Aeropuertos

El estado cuenta con aeropuertos que prestan servicio tanto nacional como internacional; y también existen aeródromos que complementan este tipo de transportación.

Puertos

El puerto de Veracruz es el más antiguo del país, y uno de los de mayor importancia. El puerto de Coatzacoalcos es importante porque aquí se realiza el movimiento de petróleo, azufre y fertilizantes.

El puerto de Tuxpan es el más cercano a la ciudad de México, pero no tiene la relevancia de los antes mencionados

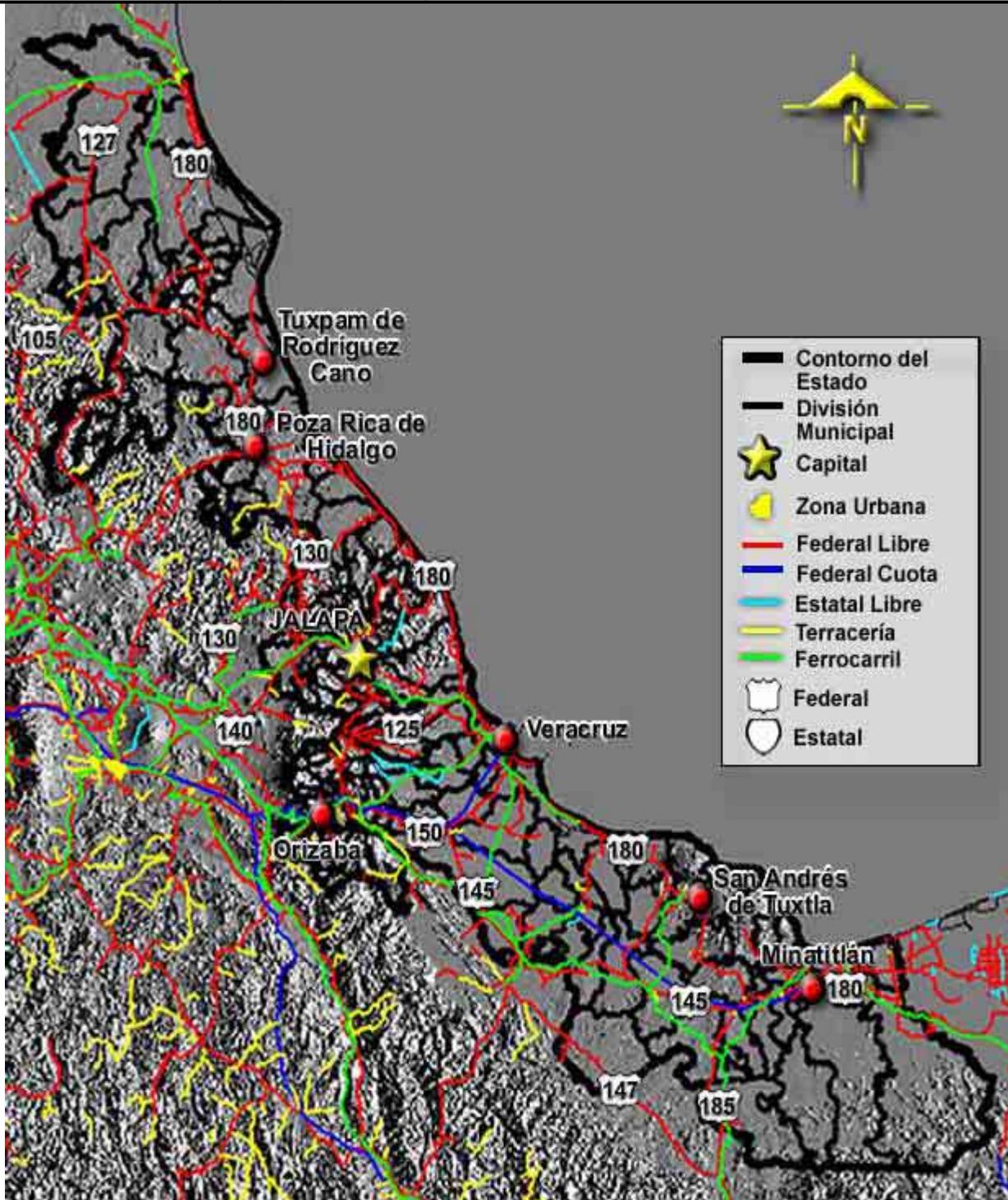
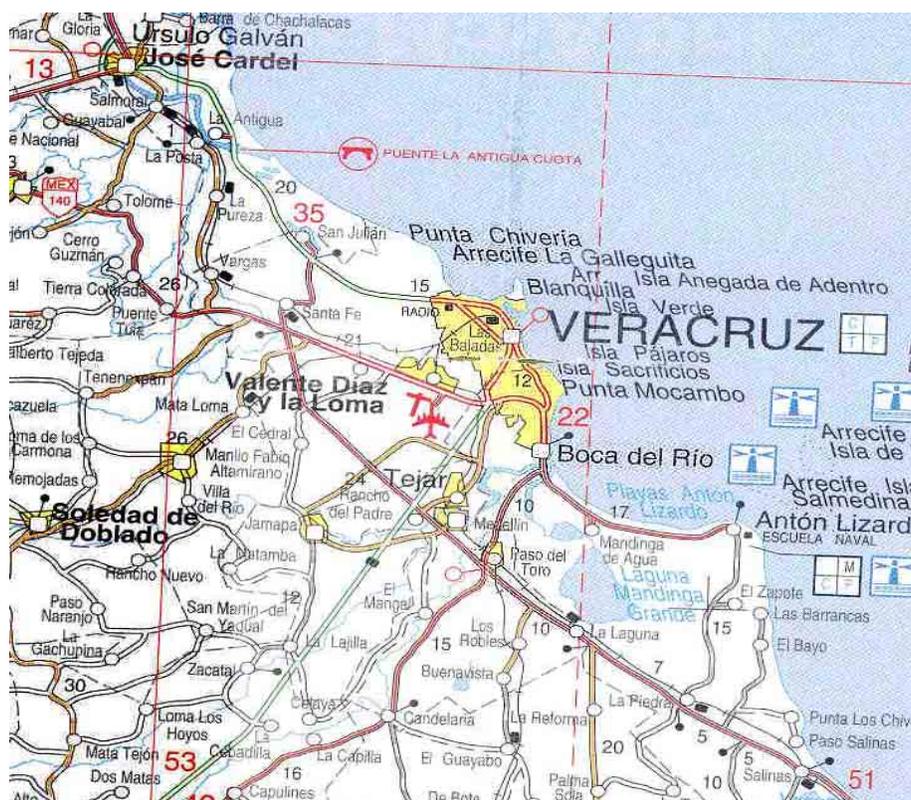
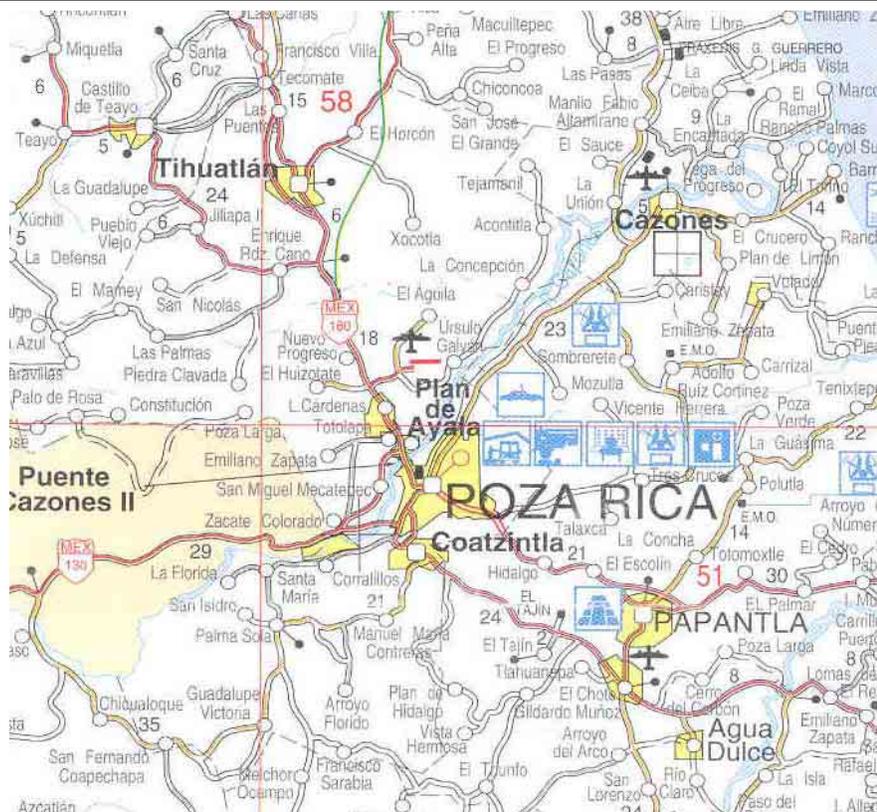


Figura 5.2 Mapa con las Principales Carreteras

5 Principales Características de Veracruz



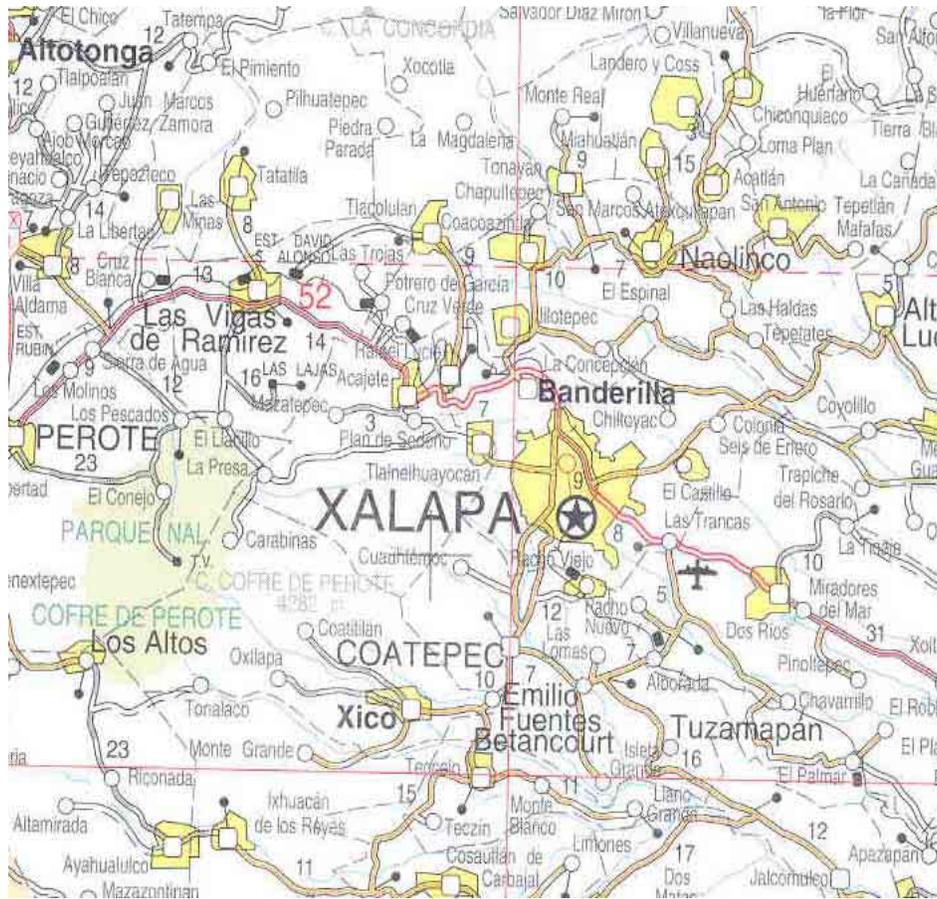


Figura 5.3 Red Carretera de las Tres Ciudades Estudiadas

El estudio de campo se hizo con el objeto de determinar la magnitud de los niveles sonoros generados por la operación de la red carretera, con la finalidad de definir si representan un problema para el Estado.

Se tomaron mediciones del Leq de 60 segundos generado por la operación de las principales carreteras federales del Estado de Veracruz, en un horario de las 08:30 a las 16:00 horas a intervalos de 2 minutos. Las carreteras fueron elegidas por presentar altos volúmenes de tránsito, por su proyecto geométrico y su situación topográfica.

6.1 Método de Medición

En virtud de las características específicas requeridas, en el estudio se usó la medición directa por las siguientes razones:

- En México no se han desarrollado métodos de previsión, debido a que no se ha estudiado el ruido generado por las carreteras.
- Se desconocen las características acústicas del entorno de las carreteras y la capacidad fonoaislante y fonoabsorbente de los materiales que la componen.
- Se desconoce la variación del ruido a lo largo del tiempo que se presenta en las carreteras.
- Desde el punto de vista económico y dada la naturaleza del presente estudio, es más barato hacer mediciones directas que diseñar un modelo de previsión que represente las condiciones sonoras de las carreteras.

El estudio de campo, si bien no concuerda rigurosamente con ninguno de los tipos de medición, puede ser considerado para fines prácticos como una Medición de Monitoreo, dadas las siguientes consideraciones:

- Las mediciones fueron realizadas durante largos períodos de tiempo (8 horas).
- La medición del ruido puede considerarse como continua a lo largo del período de medición.
- Las mediciones no fueron realizadas bajo condiciones climáticas adversas como lluvia, viento o nieve, que pudieran afectar la confiabilidad a los resultados obtenidos.
- El grado de precisión de las mediciones no puede ser determinado con exactitud; sin embargo, es mucho mejor que +/- 5 dB debido a que se está utilizando un sonómetro de precisión que puede hallar variaciones en la presión sonora de hasta medio decibel.
- En el estudio de campo, no se llevó un control sobre el gradiente térmico en los lugares de medición.

6.2 Instrumentos de Medición

Para la determinación del ruido generado por los vehículos que circulan por las carreteras, se utilizó un sonómetro de precisión marca Brüel & Kjaer modelo 2225 con un rango de medición de 20 a 140 dB(A) mostrado en la Figura 6.1, el cual cumple con los requisitos especificados por la Norma Mexicana NMX-AA-059-1978 “Sonómetros de Precisión”.

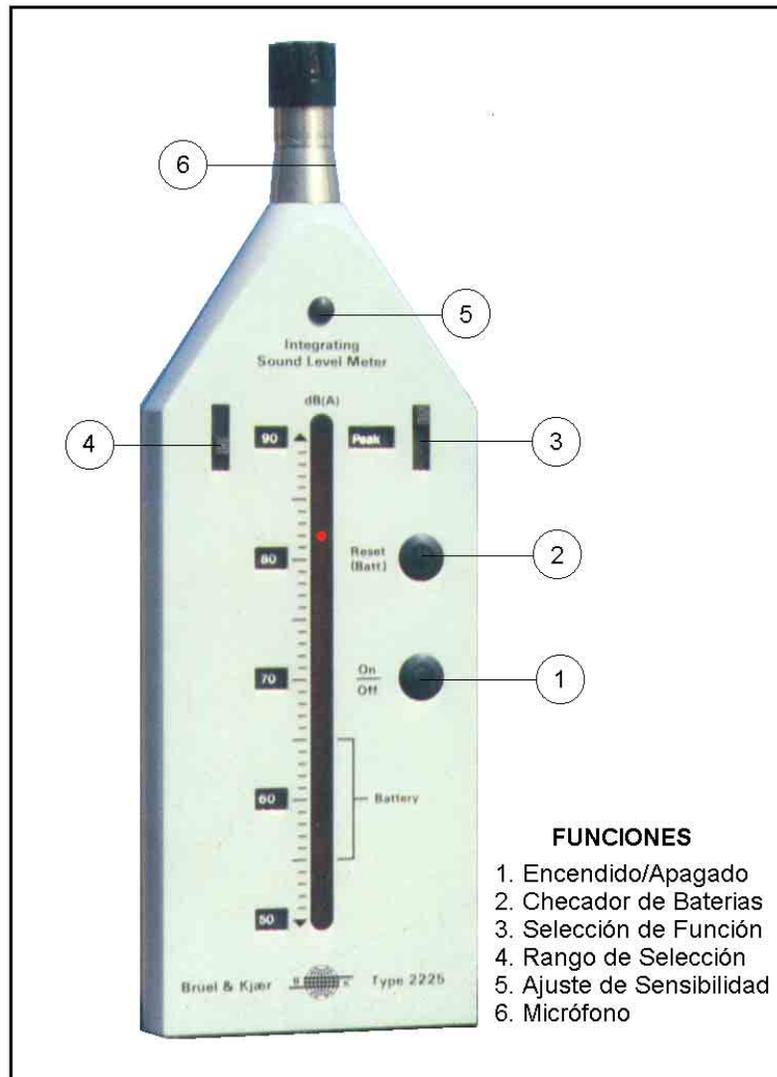


Figura 6.1 **Sonómetro de Precisión marca Brüel & Kjær modelo 2225**

Se utilizó el sonómetro en la función $L_{eq}(60 \text{ seg})$, que es el nivel de presión sonora continuo equivalente para un período fijo de un minuto; es necesaria la integración del L_{eq} para períodos mayores, esto se logra mediante el siguiente procedimiento:

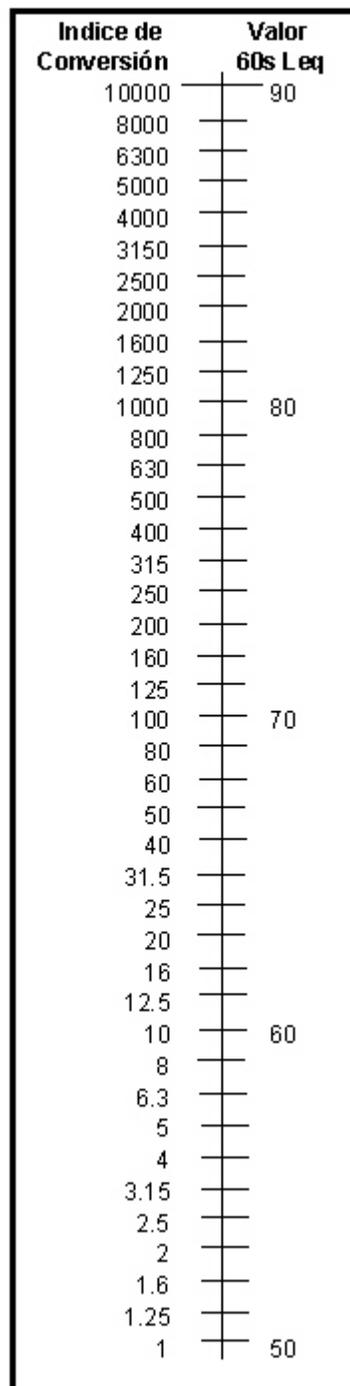


Figura 5.2 **Nomograma para obtener un Leq para períodos mayores de 60 segundos**

6 Estudio de Campo en Carreteras

- 1 Emplear el nomograma de la Figura 6.2 para obtener el índice de conversión correspondiente a cada minuto.
- 2 Sumar los valores índice de conversión para cada minuto.
- 3 Dividir la suma de los índices de conversión entre la duración del período en minutos.
- 4 Con el valor obtenido, leer en el nomograma de la Figura 6.2 para obtener el valor correspondiente al Leq para ese período de medida.

Para evitar interferencia por viento en la precisión de las mediciones, se usó una pantalla antiviento (windscreen), la cual consiste en una esfera de material sintético poroso que se coloca sobre el micrófono y que absorbe el silbido del viento.

El sonómetro fue colocado sobre un tripié estándar a una distancia de 7.5 m del hombro de la carretera y a una altura de 1.5 m respecto al eje de la misma, tal como se muestra en la Figura 6.3.

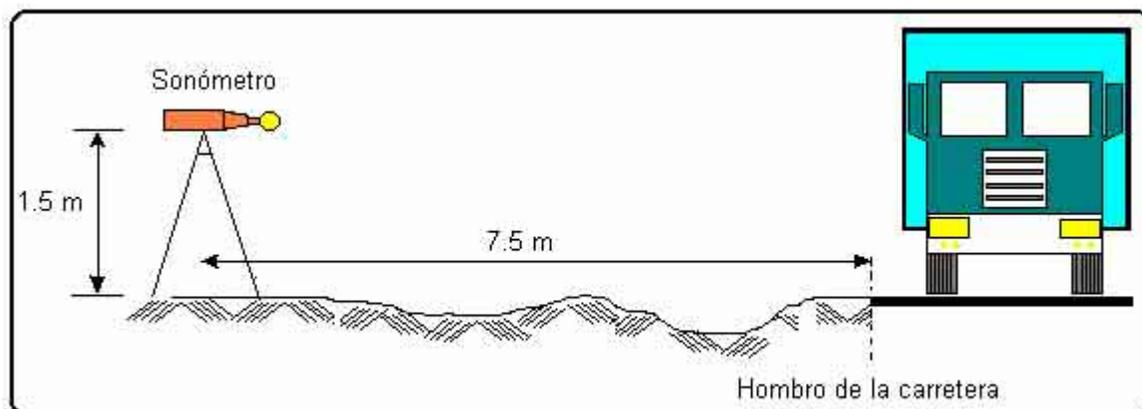


Figura 6.3 Ubicación del sonómetro en el estudio de campo

Para una documentación más completa del estudio de campo, se llevó a cabo un registro fotográfico.

6.3 Tiempo e Intervalos

El período de medición utilizado fue inicialmente de 8 horas, aunque se tuvieron que hacer algunas modificaciones en los horarios en función de las condiciones ambientales; este período es mucho mayor que el recomendado por el método de medición nórdico (NORDEST) y por E.U.A. de 15 minutos durante la hora de mayor ruido, o el sugerido por Austria y Holanda de 10 minutos.

El intervalo de medición es el tiempo transcurrido entre una medición y la siguiente; en el estudio de campo fue de 2 minutos.

Se puede considerar como continua una medición con intervalos de 2 minutos debido a que la diferencia que se encuentra entre un $Leq(8\text{ h})$ obtenido usando la función $Leq(60\text{ seg})$ para intervalos de medición de 1, 2 y 5 minutos no es significativa.

6.4 Puntos de Medición

En el estudio de campo se eligieron 6 lugares diferentes considerados como tramos críticos producto de la evaluación y recorrido previos y en cada uno de ellos se midió el ruido exclusivamente en un sentido.

Los puntos de medición se hallan ubicados sobre las 6 más importantes carreteras del Estado de Veracruz y se presentan en la Tabla 6.1; en esta se indica la ubicación de los puntos de medición del ruido, los cuales se presentan en la Figura 6.4.

PUNTO	CARRETERA	SENTIDO
1	Poza Rica - Tuxpan Km 199+050	Poza Rica
2	México - Tuxpan Km 164+500	Tuxpan
3	Cardel - Veracruz Km 238+900	Cardel
4	Paso del Toro – Acayucan Km 1+100	Acayucan
5	Xalapa - Veracruz Km 3+300	Veracruz
6	San Hipólito - Xalapa Km 145+010	Xalapa

Tabla 6.1 Puntos de Medición



Figura 6.4 Puntos de Medición del ruido generado por la operación del transporte en las carreteras de Poza Rica

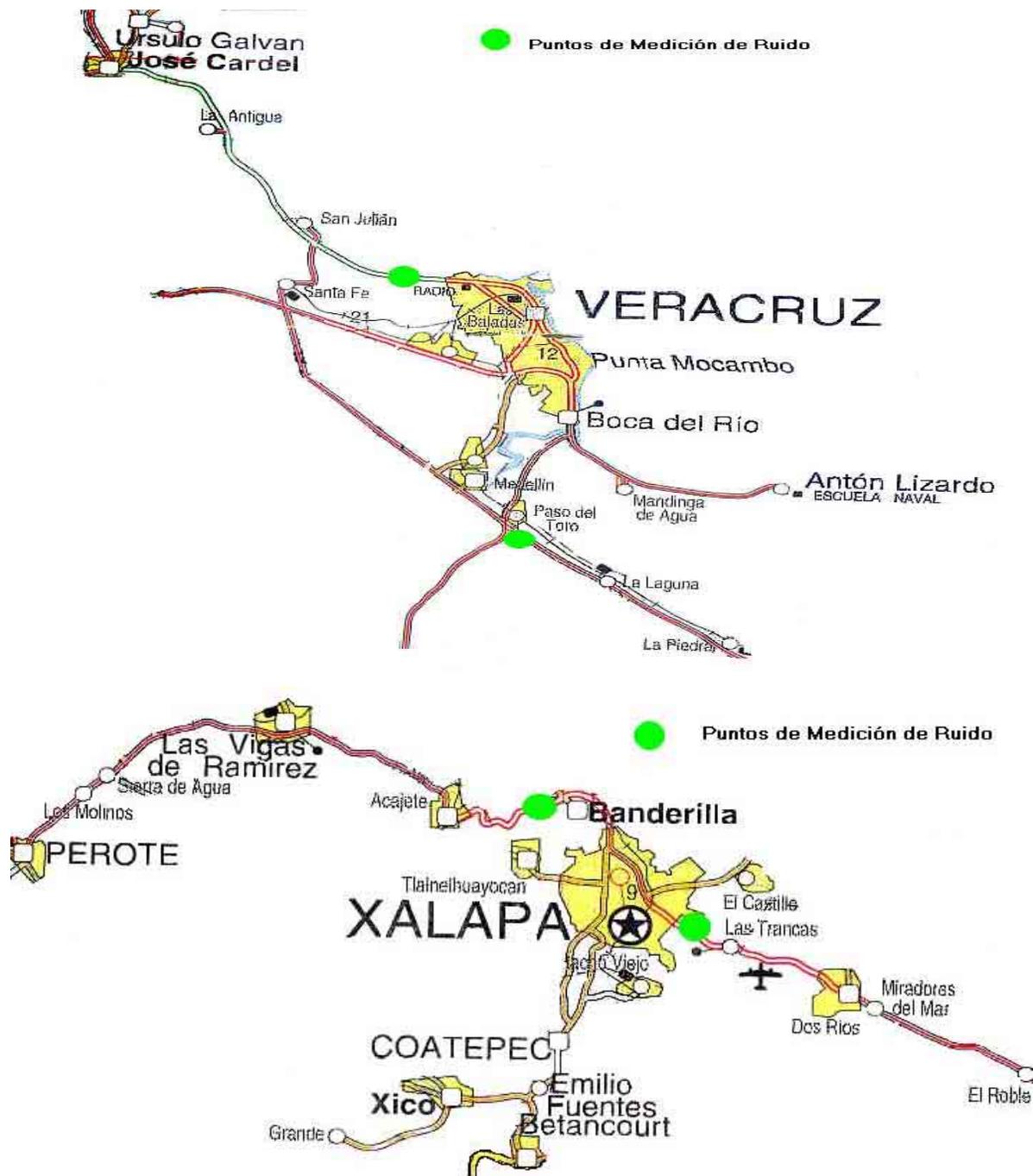


Figura 6.4 Puntos de Medición del ruido generado por la operación del transporte en las carreteras de Veracruz y Xalapa

6.5 Resultados del Estudio de Campo

En este punto se presentan las condiciones en las que se realizó el estudio de campo, los datos generales de las carreteras evaluadas y las características encontradas en las mediciones obtenidas del ruido. La información de las características geométricas y del tránsito, fue proporcionada por la Unidad de Estudios del Centro SCT Veracruz.

6.5.1 Poza Rica - Tuxpan Km 199+050 (sentido Poza Rica)

La Tabla 6.2 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.5 y 6.6 respectivamente.

Poza Rica – Tuxpan	
Ubicación: Km 199 + 050 (sentido P. Rica)	
No. de carriles	1 por sentido
Pendiente	2,5%
TDPA	11 580

Tabla 6.2 **Características Geométricas y de Tránsito**



Figura 6.5 Condiciones de la carretera



Figura 6.6 Pendiente de la carretera

6 Estudio de Campo en Carreteras

La distribución del ruido generado por la carretera a lo largo del tiempo, se muestra en la Figura 6.7.

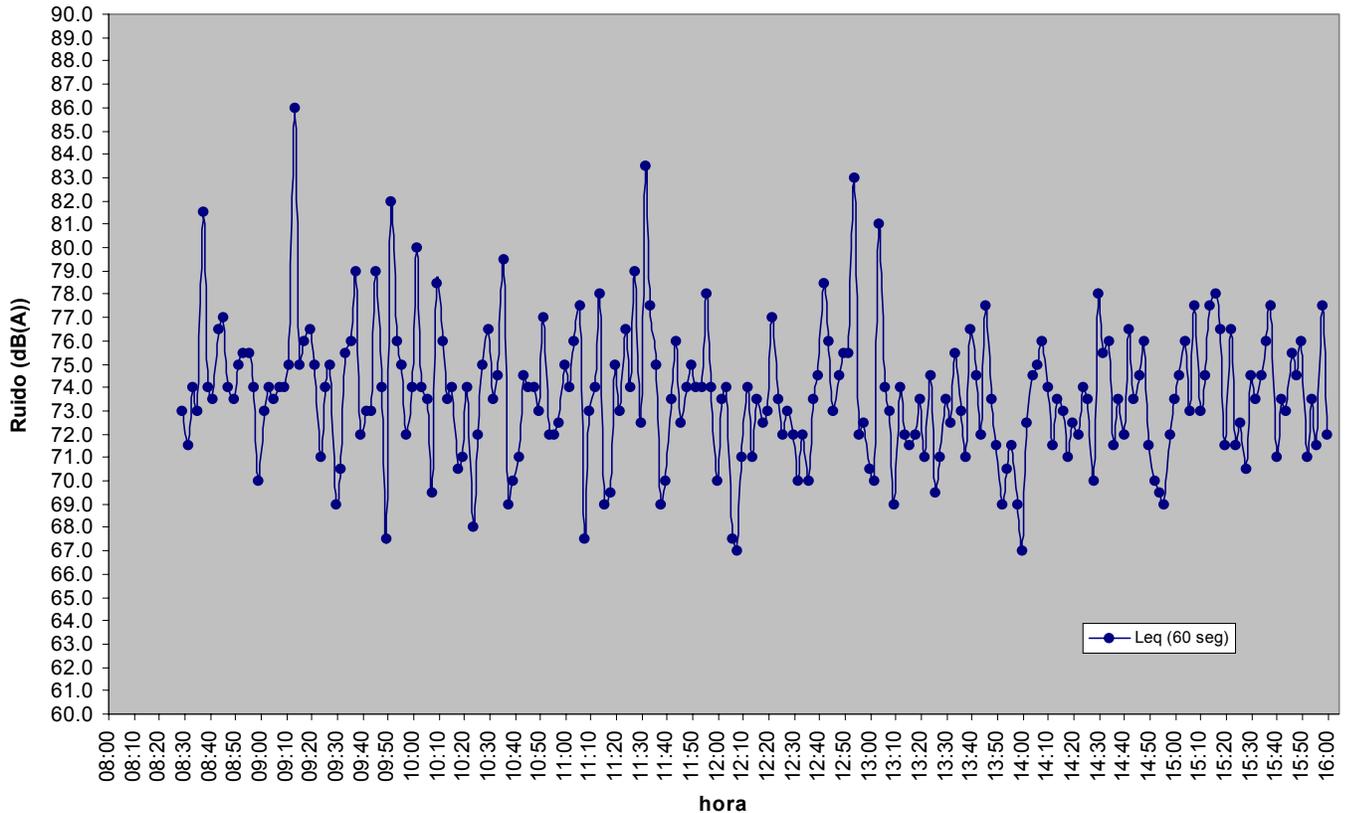


Figura 6.7 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte, se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera, éstos se presentan a continuación:

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 74,9 dB(A).
- Nivel percentil $L50$ (total)= 73 dB(A).

- De la hora más ruidosa, que es de las 08:30 a 09:30 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 80,9 dB(A), así como el L_{10} (hora)= 82,0 dB(A).
- El $L_{máx}$ = 86 dB(A).
- El L_{min} = 67 dB(A).

6.5.2 México - Tuxpan Km 164+500 (sentido Tuxpan)

La Tabla 6.3 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.8 y 6.9 respectivamente.

Carretera México – Tuxpan	
Ubicación: Km 164 + 500 (sentido Tuxpan)	
No. de carriles	1 por sentido
Pendiente	0,5%
TDPA	9 020

Tabla 6.3 Características Geométricas y de Tránsito



Figura 6.8 Condiciones de la carretera



Figura 6.9 Pendiente de la carretera

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte a lo largo

de tiempo (Figura 6.10), se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de la carretera, estos índices se presentan a continuación:

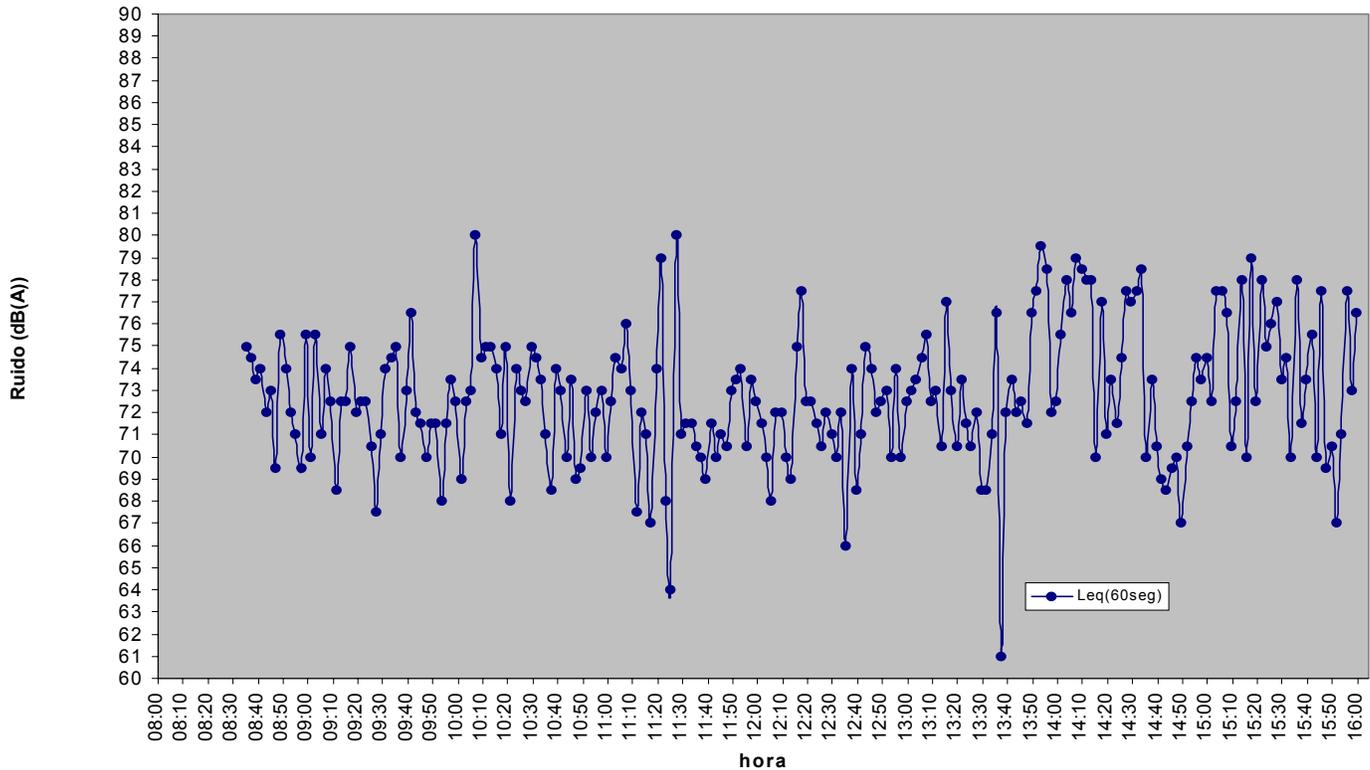


Figura 6.10 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 73,7 dB(A).
- Nivel percentil L50(total)= 72,5 dB(A).
- De la hora más ruidosa, que es de las 13:00 a las 14:00 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 79 dB(A), así como el L10 (hora)= 80,5 dB(A).
- El L_{máx}= 80 dB(A).
- El L_{min}= 61 dB(A).

6.5.3 Cardel – Veracruz Km 238+900 (sentido Cardel)

La Tabla 6.4 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.11 y 6.12 respectivamente.

Carretera Cardel – Veracruz	
Ubicación: Km 238 + 900 (sentido Cardel)	
No. de carriles	2 por sentido
Pendiente	2,5%
TDPA	21 490

Tabla 6.4 Características Geométricas y de Tránsito



Figura 6.11 Condiciones de la carretera



Figura 6.12 Pendiente de la carretera

6 Estudio de Campo en Carreteras

La distribución del ruido generado por la operación del transporte en la carretera a lo largo del tiempo, se muestra en la Figura 6.13.

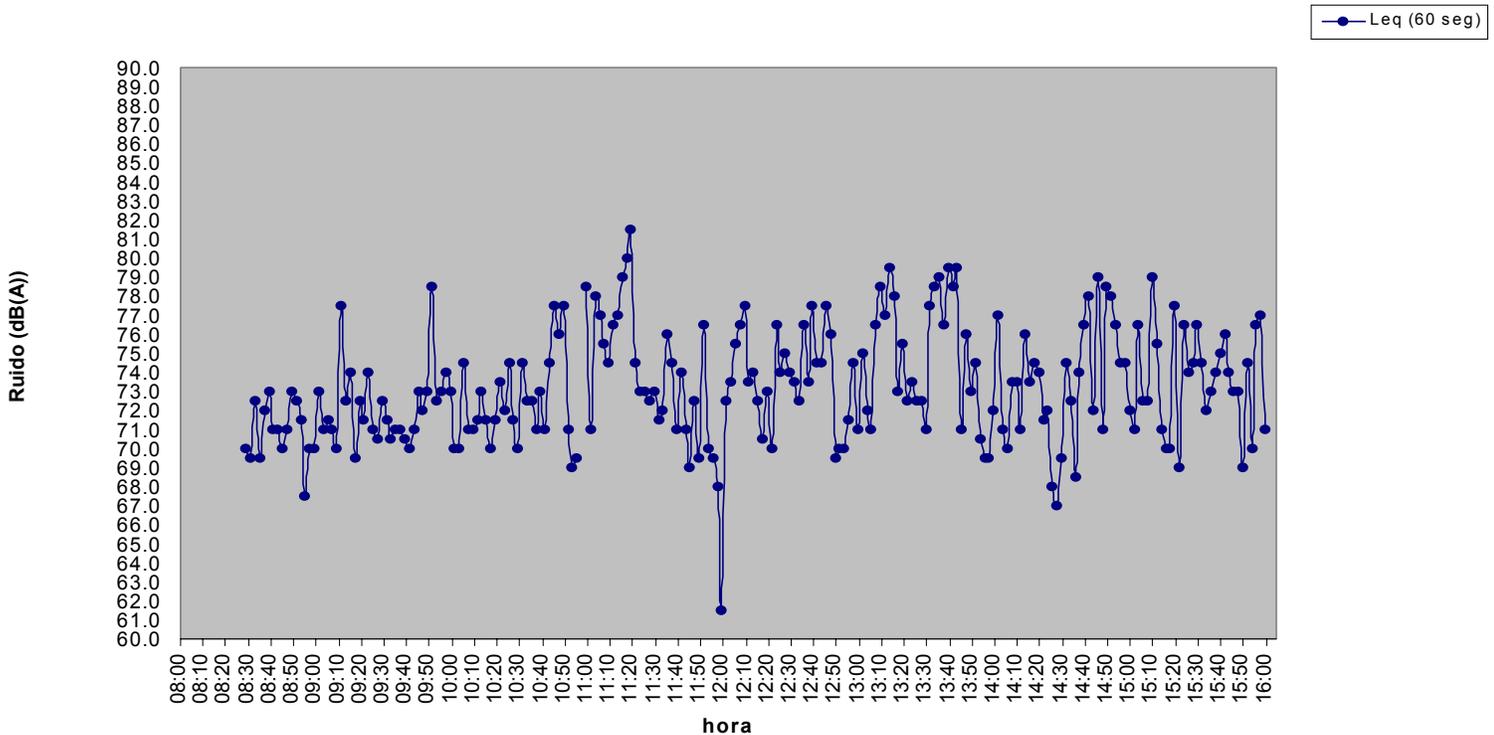


Figura 6.13 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte, se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera, éstos se presentan a continuación:

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 74,3 dB(A).
- Nivel percentil L50(total)= 73 dB(A).
- De la hora más ruidosa, que es de las 11:00 a las 12:00 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 81.8 dB(A), así como el L10 (hora)= 83.2 dB(A).

- El $L_{m\acute{a}x}$ = 81,5 dB(A).
- El $L_{m\acute{i}n}$ = 61,5 dB(A).

5.5.4 Paso del Toro - Acayucan Km 1+100 (Sentido Acayucan)

La Tabla 6.5 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.14 y 6.15 respectivamente.

Carretera Paso del Toro – Acayucan	
Ubicación: Km 1 + 100 (sentido Acayucan)	
No. de carriles	1 por sentido
Pendiente	0,0%
TDPA	6 806

Tabla 6.5 **Características Geométricas y de Tránsito**



Figura 6.14 Condiciones de la carretera



Figura 6.15 Pendiente de la carretera

La distribución del ruido generado por la operación del transporte en la carretera a lo largo de tiempo se puede ver en la Figura 6.16.

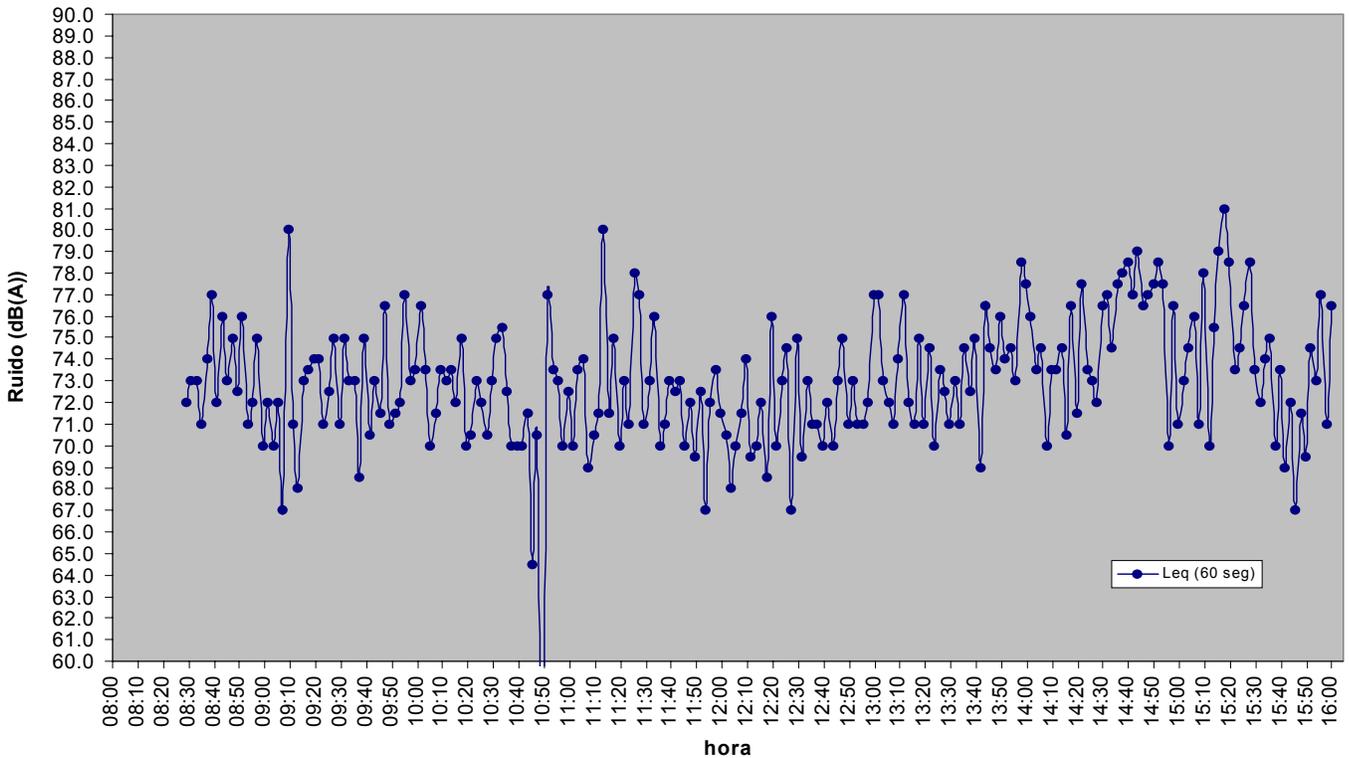


Figura 6.16 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte en la carretera a lo largo de tiempo, se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera, estos índices se presentan a continuación:

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 74dB(A).
- Nivel percentil $L50$ (total)= 73 dB(A).

6 Estudio de Campo en Carreteras

- De la hora más ruidosa, que es de las 09:00 a las 10:00 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 81.5 dB(A), así como el L_{10} (hora)= 83 dB(A).
- El $L_{máx}$ = 81 dB(A).
- El L_{min} = 51 dB(A).

6.5.5 Carretera Xalapa - Veracruz Km 3+300 (Sentido Veracruz)

La Tabla 6.6 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.17 y 6.18 respectivamente.

Carretera Xalapa – Veracruz	
Ubicación: Km 3 + 300 (sentido Veracruz)	
No. de carriles	2 por sentido
Pendiente	1,5%
TDPA	19 330

Tabla 6.6 **Características Geométricas y de Tránsito**



Figura 6.17 Condiciones de la carretera



Figura 6.18 Pendiente de la carretera

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte en la carretera a lo largo del tiempo (Figura 6.19), se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera, estos índices se presentan a continuación:

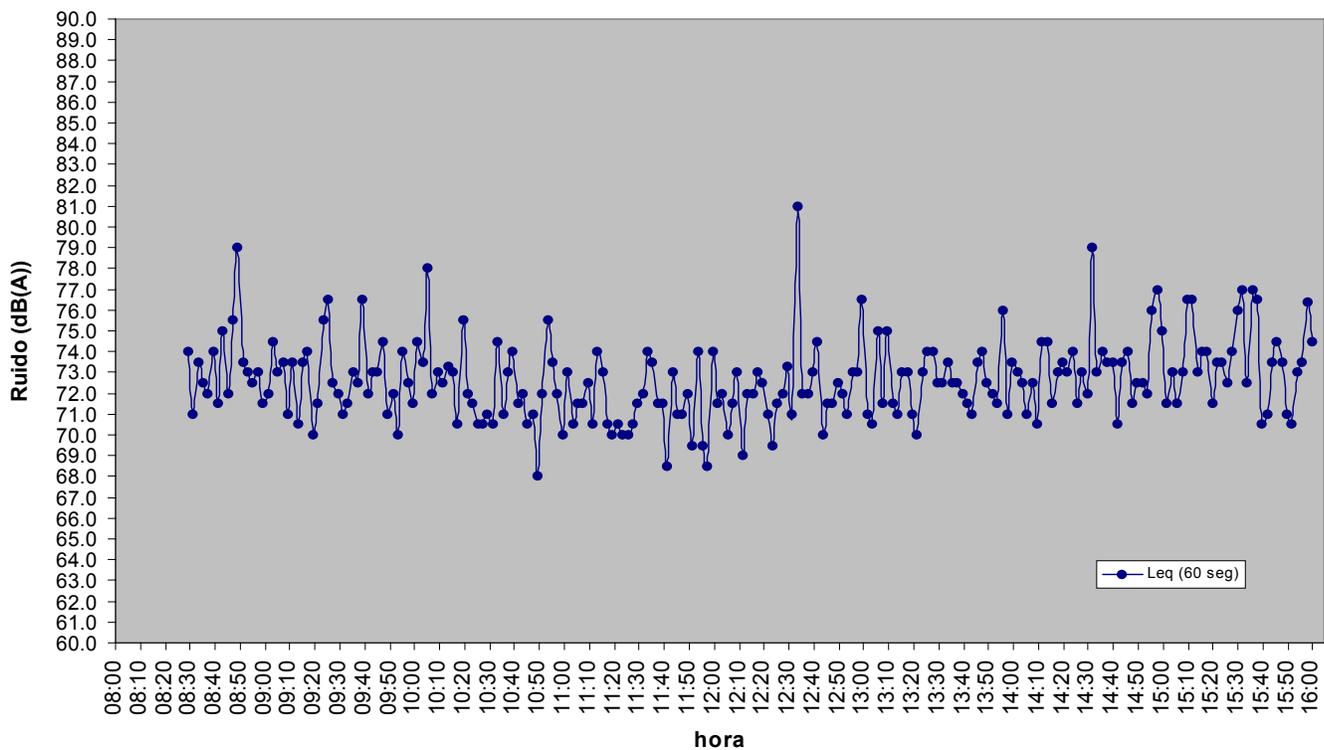


Figura 6.19 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

Es importante mencionar que en esta carretera tuvimos que suspender los trabajos de registro de datos debido a condiciones climatológicas (en este caso de lluvia) que podrían afectar de manera significativa los datos registrados

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 73,2 dB(A).

- Nivel percentil L50(total)= 72,5 dB(A).
- De la hora más ruidosa, que es de las 11:00 a las 12:00 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 79.3 dB(A), así como el L10 (hora)= 81 dB(A).
- El Lmáx= 81 dB(A).
- El Lmin= 68 dB(A).

6.5.6 San Hipólito - Xalapa Km 145+010 (Sentido Xalapa)

La Tabla 6.7 contiene las principales características geométricas y de tránsito, presentándose las condiciones y la pendiente en las figuras 6.20 y 6.21 respectivamente.

Carretera San Hipólito – Xalapa	
Ubicación: Km 145 + 010 (sentido Xalapa)	
No. de carriles	1 por sentido
Pendiente	5%
TDPA	9 840

Tabla 6.7 **Características Geométricas y de Tránsito**



Figura 6.20 Condiciones de la carretera



Figura 6.21 Pendiente de la carretera

A partir de la distribución del ruido generado por la operación del transporte en la carretera a lo largo del tiempo (Figura 6.22), se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera, estos índices se presentan a continuación:

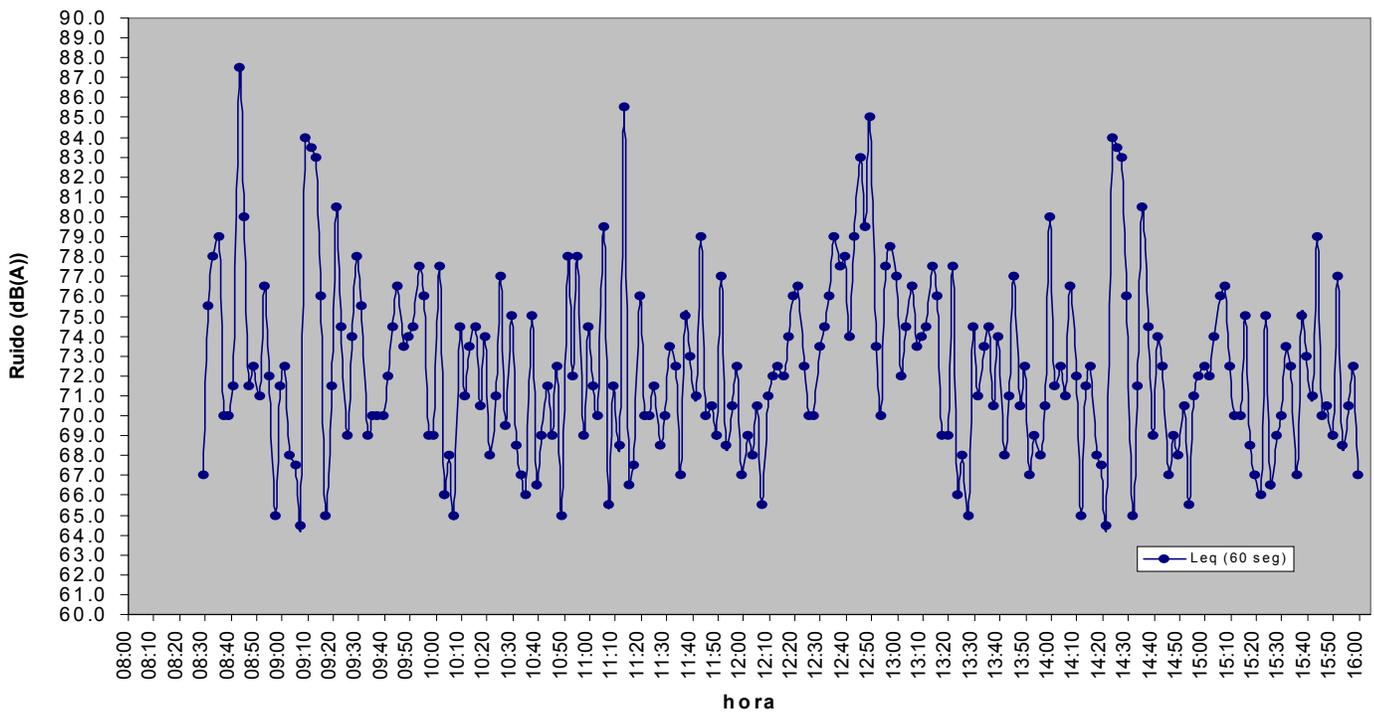


Figura 6.22 Distribución del ruido a lo largo del tiempo

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 75,4 dB(A).
- Nivel percentil $L50$ (total)= 72 dB(A).
- De la hora más ruidosa, que es de las 08:30 a las 09:30 horas, se obtuvo su Leq (hora)= 79.6 dB(A), así como el $L10$ (hora)= 80.6 dB(A).

6 Estudio de Campo en Carreteras

- El L_{\max} = 87,5 dB(A).
- El L_{\min} = 64,5 dB(A).

6.5.8 Resumen de resultados

En la Tabla 6.8 se presentan los datos generales de los puntos de medición, las características del tránsito y los índices de caracterización del comportamiento sonoro de cada tramo de carretera estudiado.

TRAMO	Leq Total	Leq Hora ruidosa	L ₁₀	L ₅₀
Poza Rica - Tuxpan Km 199+050 (sentido Poza Rica)	74,9	80,9	82	73,5
México - Tuxpan Km 164+500 (sentido Tuxpan)	73,7	79	80,5	72,5
Cardel - Veracruz Km 238+900 (sentido Cardel)	74,3	81,8	83,2	73
Paso del Toro - Acayucan Km 1+100 (sentido Acayucan)	74	81,5	83	73
Xalapa - Veracruz Km 3+300 (sentido Veracruz)	73,2	79,3	81	72,5
San Hipólito - Xalapa Km 145+010 (sentido Xalapa)	75,4	79,6	80,6	72

Tabla 6.8 **Resumen General**

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos en el estudio de campo, describiendo las variaciones en los niveles de ruido que se presentaron en los tramos de estudio y los factores que influyen de manera más notable en la generación del ruido. Para finalizar, se hará una comparación de los niveles de ruido encontrados en las carreteras estudiadas con las diversas normas nacionales e internacionales.

7.1 Variaciones en los Niveles de Ruido Medidos en Función de las Características de las Carreteras.

Las lecturas del ruido tomadas en los puntos de medición, varían de manera importante de acuerdo a las características geométricas de la carretera y del tránsito vehicular.

Con los datos obtenidos del estudio de campo, no es posible establecer una correlación entre estas características y el ruido generado por las carreteras que pueda extrapolarse para ser usada en la predicción del ruido en las carreteras; sin embargo, es posible hacer algunas observaciones generales importantes.

Se ha observado que el ruido varía de manera significativa de acuerdo a las características geométricas de la carretera en estudio, es decir, en función del número de carriles, de la pendiente, del tipo de pavimento, del estado de deterioro de la carretera, de la velocidad, del TDPA y de la composición vehicular.

Para el caso de Veracruz, las carreteras variaron con dos composiciones; 2 carriles por sentido con camellón central (Xalapa - Veracruz), y 1 carril por sentido sin camellón central (todas las demás carreteras). De forma general se puede decir que las mayores mediciones se registraron en las carreteras que tienen solamente un carril por sentido.

La pendiente definitivamente influye de manera importante en los niveles de ruido generado por la operación del transporte en las carreteras. Por lo general, los

operadores de camiones de carga al ver ante sí una cuesta en la carretera, procuran aumentar la velocidad del camión para que el motor no se esfuerce, de tal manera que la pérdida de velocidad producida por la carretera en ascenso se pueda compensar con la ganada en la aceleración previa. En el caso de una carretera con una pendiente descendente, los choferes van cuidando que el camión no se acelere en exceso, para que esto no ocurra y para no quemar las balatas recurren al uso del freno de motor. En este estudio, las pendientes tuvieron valores desde el 0% hasta el 5% (de acuerdo a datos proporcionados por la Unidad de Estudios del Centro SCT Veracruz), sin embargo esta diferencia no fue tan importante como para que se registrara una influencia representativa entre las lecturas obtenidas.

Debido a que todas las carreteras estudiadas presentan el mismo material de la superficie de rodamiento, no es posible llevar a cabo inferencias sobre el tipo de pavimento y su influencia en la generación de ruido producido por la operación de las carreteras.

No en todos los puntos de medición las condiciones de la superficie de rodamiento fueron buenas, se registraron algunas diferencias en algunas carreteras que presentaron algunos problemas de baches y cuarteaduras, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas en cuanto a la generación de ruido.

En los puntos de medición designados la velocidad promedio del proyecto fue determinada entre valores de 80 y 110 Km/h. De acuerdo a estudios realizados en España, sabemos que en este rango de velocidad el ruido producido por los automóviles se debe en su mayoría al contacto entre las llantas y el pavimento, mientras que en el caso de los autobuses y camiones, el ruido que se produce se debe en su mayoría al funcionamiento de las partes mecánicas (motor, transmisión, escape, entre otros).

7 Análisis y Evaluación de Resultados

El nivel de ruido que produce el tránsito que circula por una carretera se encuentra en función del TDPA y de su composición vehicular, para un mismo TDPA, la composición vehicular del tránsito es el factor que influye de manera más importante en la generación del ruido, los camiones son los vehículos que producen los niveles de ruido mas altos en su paso por una carretera, de ahí que a mayores porcentaje de camiones en la composición vehicular, se tengan mayores niveles de ruido.

El TDPA se puede dividir en tres rangos para este caso: de 5,000 a 10,000 (Paso del Toro – Acayucan con 6 806; México – Tuxpan con 9 020 y San Hipólito – Xalapa con 9 840) de 10,000 a 20,000 (Poza Rica – Tuxpan con 11 580 y Xalapa – Veracruz con 19 330) y de 20,000 a 22,000 (Cardel – Veracruz con 21 490).

Las diferencias entre las lecturas mínimas y máximas presentadas en cada carretera incluyendo el TDPA, se muestran en la Tabla 7.1 en donde se aprecia que la mayor diferencia se presenta en la carretera Paso del Toro - Acayucan, mientras que la mínima en la Carretera Xalapa .- Veracruz.

CARRETERA	TDPA	Lmax (dB)	Lmin (dB)	Dif. (dB)
Poza Rica – Tuxpan Km 199+050 (P.R.)	11 580	86	67	19
México - Tuxpan Km 164+500 (T)	9 020	80	61	19
Cardel - Veracruz Km 238+900 (C)	21 490	81,5	61,5	20
Paso del Toro - Acayucan Km 1+100 (A)	6 806	81	51	30
Xalapa .- Veracruz Km 3+300 (V)	19 330	81	68	13
San Hipólito - Xalapa Km 145+010 (X)	9 840	87,5	64,5	23

Tabla 7.1 Valores Máximos y Mínimos Registrados

En las gráficas 7.1 y 7.2 se muestra el comportamiento a lo largo del día de las carreteras que presentaron menor y mayor variación respectivamente.

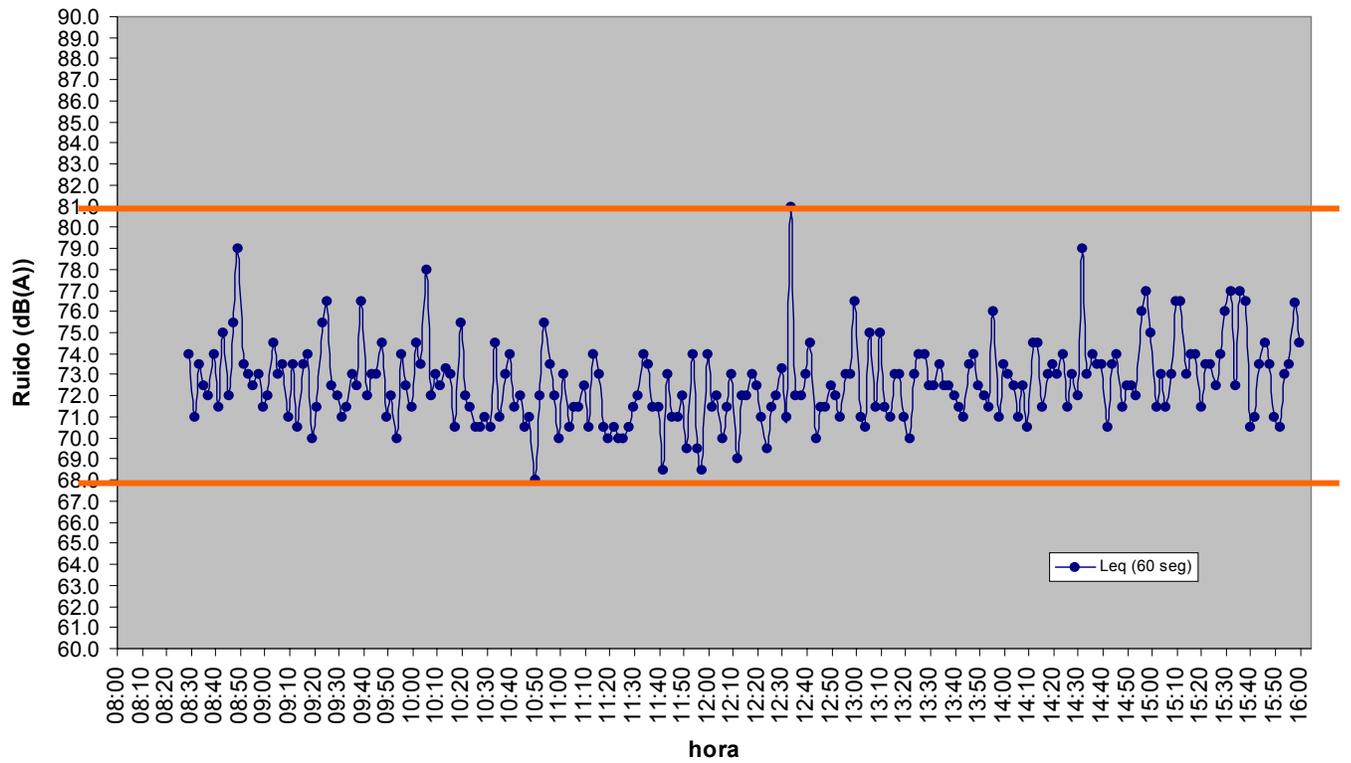


Figura 7.1 Comportamiento de la Carretera Xalapa - Veracruz, menor variación

7 Análisis y Evaluación de Resultados

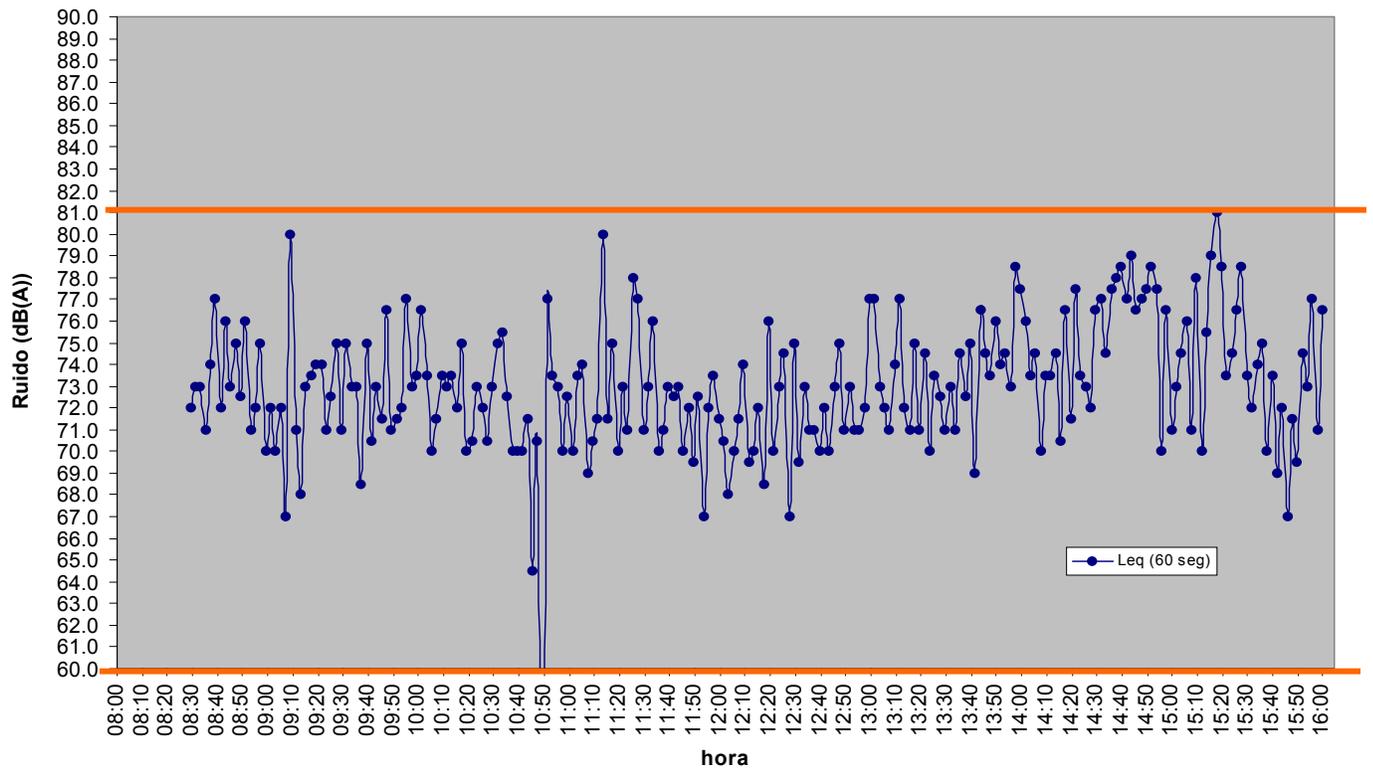


Figura 7.2 Comportamiento de la Paso del Toro - Acayucan, mayor variación

En la figura 7.2 se puede observar muy claramente la variación de los niveles de ruido en función del tiempo, cabe señalar en este caso que por efectos de la escala del gráfico, no se puede observar completamente el rango de variación, ya que el límite inferior se encuentra en los 51,5 dB.

En la figura 7.3 se puede observar que existe una gran diferencia entre los valores mínimos y máximos y aunque el rango es menor que en el caso anterior, en este se registra una gran dispersión de los datos obtenidos, lo que convierte a esta carretera en la que presenta la mayor variabilidad de lecturas de ruido.

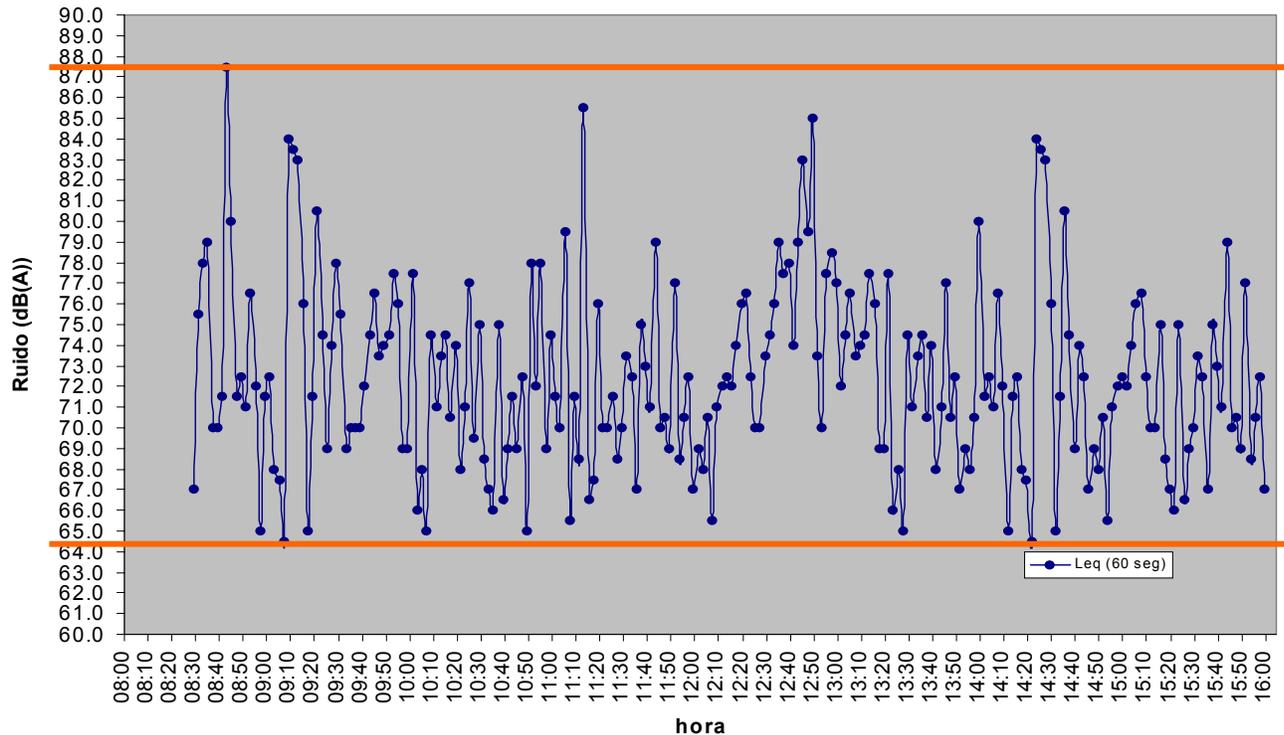


Figura 7.3 Comportamiento de la Carretera San Hipólito – Xalapa registrándose una variación importante del ruido con respecto al tiempo.

7.2 Comparación entre los niveles obtenidos en las carreteras del Estado de Veracruz con la Normativa Mexicana e Internacional

Para poder evaluar el ruido generado por la operación del transporte en las carreteras en estudio, es necesario la obtención de ciertos índices a partir de los datos obtenidos en el estudio de campo, los cuales se comparan contra el valor límite de ruido especificado para ciertas condiciones de la carretera por la normativa de cada país u organización:

- En el caso de México, se puede utilizar el valor de 68 dB(A) si se supone a las carreteras como una fuente de emisión de ruido fija, como se puede apreciar en el “Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por

7 *Análisis y Evaluación de Resultados*

la Emisión del Ruido”, Capítulo III, artículo 11.

- Para el caso de la OMS, se tomó un nivel de ruido límite de 75 dB(A) por un período de exposición de 8 horas estimado para un ambiente laboral.
- Para la OCDE se tomó un nivel de ruido límite Leq para un período diurno en una carretera existente de 60 a 70 dB(A).
- Para la CCE y DGXI, se tomó un nivel de ruido límite Leq para un período diurno en una carretera existente de 65 a 70 dB(A).
- Para la Normativa Japonesa, se tomó un nivel de ruido límite estadístico L50 para un período diurno en una zona de servicios públicos cerca de una carretera de dos o más carriles de 65 dB(A).
- Para la Normativa Finlandesa, se tomó un nivel de ruido límite Leq para un período diurno en un área existente de tipo residencial, con servicios públicos y recreativos de 55 dB(A).
- Para la Normativa Francesa, se tomó un nivel de ruido límite Leq para un período diurno, en una zona de locales de oficina con un ambiente sonoro moderado de 65 dB(A).
- En el caso de la Normativa de Estados Unidos, se tomó un nivel de ruido límite Leq de 72 dB(A) y un límite estadístico L10 de 75 dB(A), de la hora más ruidosa, para una zona en la que las urbanizaciones no tengan como fin el descanso, recreación o estudio de personas.
- En la Normativa Española se tomó un nivel de ruido límite para un período diurno en una zona comercial e industrial de 75 dB(A).

- En la Normativa Chilena, se tomó un nivel de ruido límite para un período diurno en una zona cuyo uso de suelo de acuerdo al plan maestro sea industrial, con industria inofensiva y/o molesta de 70 dB(A).

Como se puede observar, existen 4 índices para la evaluación de los resultados obtenidos en el estudio de campo contra la normativa Mexicana e Internacional, éstos son: Leq (7.5 h), Leq (hora más ruidosa), L10 (hora más ruidosa) y L50 (7.5 h); la evaluación de los resultados queda resumida en la Tabla 7.1.

Carretera	Leq		L50	Leq	L10
	(8 h)			(hora más ruidosa)	
	México 68	OMS 75 OCDE 60/70 CCE, DGXI 65/70 Finlandia 55 Francia 65 España 65 Chile 70	Japón 65	E.U.A. 72	E.U.A. 75
Puza Rica – Tuxpan Km 199+050 (sentido Poza Rica)	74,9		73,5	80,9	82
México - Tuxpan Km 164+500 (sentido Tuxpan)	73,7		72,5	79	80,5
Cardel - Veracruz Km 238+900 (sentido Cardel)	74,3		73	81.8	83,2
Paso del Toro – Acayucan Km 1+100 (sentido Acayucan)	74		73	81.5	83
Xalapa - Veracruz Km 3+300 (sentido Veracruz)	73,2		72,5	79.3	81
San Hipólito - Xalapa Km 145+010 (sentido Xalapa)	75,4		72	79.6	80.6

Tabla 7.1 Evaluación del Ruido Generado por la Operación del Transporte en algunas Carreteras del Estado de Veracruz contra una Normativa Mexicana e Internacional en dB(A)

Como se puede apreciar en la Tabla 7.1, el límite sonoro utilizado para México, de 68 dB(A), se halla ampliamente rebasado en todos los puntos de medición, en el más

7 Análisis y Evaluación de Resultados

favorable y desfavorable de los casos en 5,2 y 7,4 dB(A) respectivamente.

Para las normativas que utilizan como índice de referencia el Leq para un período de 7.5 horas, en todos los casos son sobrepasadas por las mediciones obtenidas en el estudio de campo, a excepción de los valores de la OMS

Las variaciones más significativas se presentan respecto a la normatividad Finlandesa, donde las diferencias oscilan entre 18,2 y 20,4dB(A) para los casos más favorable y desfavorable respectivamente.

Para el caso de la normativa Japonesa, que utiliza como índice de referencia el L50 para un período de 7.5 horas, se halla rebasada en todos los puntos de medición en el más favorable y desfavorable de los casos por 7 y 8,5 dB(A) respectivamente.

En el caso de la normativa de Estados Unidos, que utiliza como primer índice de referencia el Leq para el período de la hora más ruidosa, se halla rebasada en todos los puntos de medición en el más favorable y desfavorable de los casos por 7 y 9,8 dB(A) respectivamente.

En el caso de la normativa de Estados Unidos, que utiliza como segundo índice de referencia el L10 para el período de la hora más ruidosa, se halla superada en todos los puntos de medición en el más favorable y desfavorable de los casos por 5,6 y 8,2 dB(A) respectivamente.

En México aún no se cuenta con estudios que permitan cuantificar los niveles de ruido que se generan por la operación del tránsito vehicular por las carreteras, con la finalidad de establecer la importancia de este impacto al medio ambiente; por ello, el objetivo del presente estudio es tratar de definir si, dentro del Impacto Ambiental generado por la Infraestructura Carretera, los niveles sonoros producidos por la operación del transporte son de tal magnitud que representan un problema necesario de estudiar y plantear medidas que lo minimicen.

Para cumplir con el objetivo citado, se llevó a cabo un estudio, en el cual se midió el ruido producido por el transporte en las principales carreteras del estado de Veracruz en un horario diurno. Las carreteras o tramos críticos fueron elegidas con base en sus volúmenes de tránsito, a la situación topográfica y a los posibles efectos sobre el usuario y la población circunvecina afectada. Todos los resultados se han integrado en el presente documento.

El ruido es un subproducto no deseado del modo de vida moderno, es una sensación auditiva molesta y una de las perturbaciones ambientales que de manera muy importante afectan al hombre (directamente a la calidad de vida), aunque éste en muchas ocasiones no es consciente de sus efectos, pues no suelen manifestarse de forma inmediata, lo hacen a largo plazo y no se percibe con claridad la relación causa – efecto.

El ruido debe ser considerado como un importante contaminante en el medio ambiente, que necesita muy poca energía para poder ser emitido, no es sencillo medirlo o cuantificarlo y sus efectos sobre los seres humanos pueden ser acumulativos y de carácter fisiológico y psicológico.

La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo prolongado da lugar a pérdidas en la audición, que en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, pero con el tiempo pueden ser irreversibles convirtiéndose en sordera.

El ruido puede dificultar o imposibilitar la comunicación con otro ser humano y producir dolor cuando este alcanza los 110 dB(A). Niveles de ruido superiores a 45 dB(A) pueden perturbar el sueño nocturno, ya sea haciendo que el individuo pase a una etapa de sueño menos profunda o haciendo que despierte.

La persistencia de situaciones ruidosas en cierto ambiente, puede llevar a situaciones de peligro más allá de las consecuencias inmediatas en el individuo, como sería el caso de trabajadores o usuarios del transporte que no pudieran escuchar llamadas de advertencia o peligro.

En niveles de ruido entre 95 y 105 dB(A), se producen efectos nocivos en la irrigación sanguínea cerebral, alteraciones en el proceso digestivo, aumento en la tensión muscular y presión arterial, dilatación de pupila, alteración de la visión nocturna, además de estrechamiento del campo visual.

Para el caso específico del transporte carretero, pudieran presentarse alteraciones como el estrés, fatiga o situaciones que propiciaran algún accidente. Para el caso de población afectada en áreas circunvecinas, las afectaciones o molestias van de ligeras a significativas, dependiendo de los niveles de ruido generado tanto en el período diurno como en el nocturno.

En el estudio de campo se usó la medición directa del ruido debido a que en México no ha sido estudiado el ruido en las carreteras, se desconocen las características acústicas de los materiales que la componen y la distribución del ruido, además de ser económicamente más barata.

La lectura $Leq(60 \text{ seg})$ más alta que se registró en el estudio de campo fue en la carretera San Hipólito - Xalapa en el Km 145+010 rumbo a Xalap con 87,5 dB(A), mientras que la lectura más baja fue en la carretera Paso del Toro – Acayucan en el Km

1+100 rumbo a Acayucan con 51 dB(A) respectivamente.

La más temprana y más tardía hora de mayor ruido se registraron en las carreteras Poza Rica - Tuxpan en el Km 199+050 y en la carretera San Hipólito - Xalapa en el Km 145+010 de 08:30 a 09:30 horas, así como en la carretera México - Tuxpan en el Km 164+500 de las 13:00 a las 14:00 horas respectivamente.

El punto de mayor nivel de ruido se presentó en la carretera San Hipólito - Xalapa Km 145+010, con un $Leq(7.5\text{ h})$ de 75,4 dB(A).

El punto donde se registró el menor nivel de ruido fue en la carretera Xalapa - Veracruz Km 3+300, con un $Leq(7.5\text{ h})$ de 73,2 dB(A).

El punto de medición con el mayor rango de oscilación de lecturas de ruido, es el ubicado en la carretera Paso del Toro - Acayucan Km 1+100 con lecturas mínima y máxima de 51 y 81 dB(A) respectivamente.

El punto de medición con el menor rango de oscilación de lecturas de ruido, es el ubicado en la carretera Xalapa - Veracruz Km 3+300 con lecturas mínima y máxima de 68 y 81 dB(A) respectivamente.

En las carreteras con tramos en descenso prolongados o con una curva cercana, se producen las mayores lecturas del ruido [con lecturas instantáneas de hasta 120 dB(A)], pues los choferes de los camiones se ven en la necesidad de usar el freno de motor para disminuir la velocidad.

Debido a que la velocidad a la que circulan los vehículos por los puntos de medición es superior a los 100 km/h, el ruido predominante es el generado por el contacto entre las llantas y el pavimento para automóviles y a una combinación de motor, escape y freno de motor en los vehículos de carga.

De acuerdo a los límites establecidos por la OMS, el que los niveles de ruido producidos por las carreteras sobrepasen los 75 dB(A) hacen comparable el ambiente sonoro en algunas carreteras con el de una fábrica. Como se puede observar la normativa Finlandesa, que especifica un nivel de ruido máximo permitido de 55 dB(A) usando el Leq como índice de referencia para un período de 7.5 horas, es la más estricta de todas, seguida por el rango de ruido permisible manejado por la OCDE (60 – 70). La normativa Española, que especifica un nivel de ruido máximo permitido de 75 dB(A) usando como índice de referencia el Leq para un período de 7.5 horas, es la menos rigurosa de todas las normativas y por lo tanto, hace su cumplimiento más fácil.

El único punto de medición del ruido que no cumple con lo establecido por la normatividad de la OMS es el que está ubicado en la carretera San Hipólito – Xalapa Km 145+010 con 75,4 dB(A). En todos los demás puntos de medición del ruido y bajo cualquiera de los índices de referencia utilizados para cualquier período de tiempo, los valores obtenidos en el estudio de campo sobrepasan los valores permisibles de ruido establecidos por las distintas normatividades.

Es importante hacer notar que existen varias opciones para mitigar los niveles de ruido obtenidos y que son producidos por la operación del transporte en las carreteras en estudio, entre los más frecuentes están los siguientes, y que pudieran aplicarse en zonas interurbanas para reducir los efectos nocivos en la población circunvecina:

- a) Un mejor control del tránsito haciendo más eficiente la operación, para evitar concentraciones de vehículos que generan ruido excesivo, como los nuevos Sistemas Inteligentes de Transporte.
- b) Control del uso de suelo, con una mejor planeación, para crear áreas de amortiguamiento entre carretera y zonas habitacionales, escuelas, hospitales, etc.
- c) Nuevas superficies de rodamiento; por ejemplo, pavimentos de textura abierta, que

8 Conclusiones

absorben el ruido producido entre la llanta y el pavimento, al contener mayor número de huecos.

- d) Creación de zonas de amortiguamiento, ubicando el cuerpo de la carretera a un nivel inferior al del terreno natural, para que el ruido se disipe hacia arriba y no horizontalmente.
- e) Plantación de vegetación ad-hoc que absorba el sonido, con lo que se puede reducir hasta 10 dB(A).
- f) Construcción de barreras amortiguadoras in-situ, de diversos materiales acústicos, que pueden reducir hasta 15 dB(A).
- g) Instalación de aislamiento dentro de los edificios circunvecinos a la carretera como la colocación de dobles ventanas y materiales en muros.

En virtud de los resultados obtenidos con este estudio de campo en el Estado de Veracruz, se concluye que el ruido constituye un factor de contaminación ambiental importante que se genera en las carreteras debido a la operación del transporte, pues es un fenómeno que afecta al ser humano directa e indirectamente, de manera que se puedan establecer los niveles de ruido que se generan en los distintos tipos de carreteras para los tránsitos que actualmente circulan. Con ello, se podría conocer la magnitud completa del problema y se podrán analizar y proponer medidas de mitigación acordes a la necesidades de cada sitio en particular.

Adicionalmente, se podrán hacer las previsiones correspondientes, para este rubro específico, en la construcción o modernización de nueva infraestructura carretera.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos en este estudio de carreteras del estado de Veracruz, y de los publicados en el caso piloto de carreteras en el Estado de Querétaro, del Estado de Jalisco y de Nuevo León, se cuenta a la fecha con un

espectro amplio y más completo y se pueden generar valores que pudieran llegar a convertirse en Norma Oficial para el caso del Impacto Ambiental generado por la operación del transporte terrestre en las carreteras federales de nuestro país.

- 1 Instituto Mexicano del Transporte; **Impacto Ambiental Generado por la Infraestructura Carretera. Estudio Piloto del Ruido, Caso Querétaro**; Publicación Técnica No. 154; México, 2000.
- 2 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso II, Jalisco**; Publicación Técnica No 187; México, 2001.
- 3 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso III, Nuevo León**; Publicación Técnica en Proceso; México, 2002.
- 4 Matthey Rubio, Victor Leonardo; **Medición del Ruido en Ambientes Laborales**; Segunda Reunión de Intercambio de Experiencias de la Dirección de Operación, Sistema de Transporte Colectivo; México, 1999.
- 5 Peterson, Alan; **ContraFlow**; Revista World Highways Vol 9, pag 7; Reino Unido, Enero/Febrero 2000.
- 6 Brüel & Kjaer; **Instruction Manual: Integrating Sound Level Meter Type 2225**; Dinamarca, 1980.
- 7 Instituto Mexicano del Transporte; **Algunas Medidas para Mejorar la Seguridad Vial en las Carreteras Nacionales**; Publicación Técnica No. 89; México, 1996.
- 8 Instituto Mexicano del Transporte; **Impacto Ambiental Generado por las Carreteras en Operación. Contaminación por Ruido**; Martínez Soto, América, Publicación bimestral de divulgación externa, Número 52; México, 2000

- 9** International Organization for Standardization; **Acustics-Measurement of Noise Emitted by Stationary Road Vehicles- Survey Method**; Draft International Standard ISO/DIS 5130, 1977.

- 10** Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente; **Curso sobre Ruido Producido por Infraestructura de Transporte**; CEDEX; España, 1998.

- 11** Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras; **Reducción del Ruido en el Entorno de las Carreteras**; OCDE; Francia, 1995.

- 12** Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia de la República de Chile; **Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas**; Decreto Supremo No. 146; Chile, 1998.
http://www.conama.cl/investigación..._ambientales/Ruido/legislacion.htm.

- 13** Minnesota Pollution Control Agency; **An Introduction to Sound Basics**;
<http://www.nonoise.org/library/sndbasic/sndbasic.htm>.

- 14** National Association of Noise Control Officials; **Noise Effects Handbook**; Florida 1981;
<http://www.nonoise.org/library/hadbook/handbook.htm>

- 15** National Instruments; **Computer-Based Dynamic Signal Measurements**; National Instruments Corporation; Estados Unidos, 1998.

- 16** Notimex; **El Ruido Puede tener un Efecto Acumulativo en el Hombre**;
<http://noticias.mx.yahoo.com/notic...x-efectos-del-ruido-96375744.html>.

- 17** Office of Noise Abatement and Control; **Noise: A Health Problem**; United States

Environmental Protection Agency; Washington, DC, Agosto de 1978;
<http://www.nonoise.org/library/epahlth/epahlth.htm>

- 18 Organización Panamericana de la salud; **Criterios de Salud Ambiental 12: El Ruido**; Organización Mundial de la Salud; México, 1983.
- 19 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; **Norma Mexicana NMX-AA-040-1976, Clasificación de Ruidos**; Dirección General de Normas; México, 1976.
- 20 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; **Norma Mexicana NMX-AA-047-1977, Sonómetros Para Usos Generales**; Dirección General de Normas; México, 1977.
- 21 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; **Norma Mexicana NMX-AA-059-1978, Acústica – Sonómetros de Precisión**; Dirección General de Normas; México, 1978.
- 22 Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; **Norma Mexicana NMX-AA-062-1979, Acústica – Determinación de los Niveles de Ruido Ambiental**; Dirección General de Normas; México, 1979.
- 23 Secretaría de Desarrollo Social; **Norma Oficial Mexicana NOM-079-ECOL-1994**; México, 1994.
- 24 Secretaría de Desarrollo Social; **Norma Oficial Mexicana NOM-080-ECOL-1994**; México, 1994.
- 25 Secretaría de Desarrollo Social; **Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994**; México, 1994.

26 Secretaría de Desarrollo Social; **Norma Oficial Mexicana NOM-082-ECOL-1994**; México, 1994.

ANEXO LECTURAS DEL RUIDO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

(Los TDPA mostrados son por sentido de circulación)

NIVELES DE RUIDO

Estación Poza Rica-Tuxpan Km .199+050 Fecha 27-Ago-02

DATOS GENERALES

Velde Proyecto	85 km /h
Pendiente	2.50%
TDPA	11 580
Tipo de Pavimento	asfalto
Condiciones de la Carretera	Buenas condiciones

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30	73.0	09:30	69.0	10:30	76.5	11:30	72.5
08:32	71.5	09:32	70.5	10:32	73.5	11:32	83.5
08:34	74.0	09:34	75.5	10:34	74.5	11:34	77.5
08:36	73.0	09:36	76.0	10:36	79.5	11:36	75.0
08:38	81.5	09:38	79.0	10:38	69.0	11:38	69.0
08:40	74.0	09:40	72.0	10:40	70.0	11:40	70.0
08:42	73.5	09:42	73.0	10:42	71.0	11:42	73.5
08:44	76.5	09:44	73.0	10:44	74.5	11:44	76.0
08:46	77.0	09:46	79.0	10:46	74.0	11:46	72.5
08:48	74.0	09:48	74.0	10:48	74.0	11:48	74.0
08:50	73.5	09:50	67.5	10:50	73.0	11:50	75.0
08:52	75.0	09:52	82.0	10:52	77.0	11:52	74.0
08:54	75.5	09:54	76.0	10:54	72.0	11:54	74.0
08:56	75.5	09:56	75.0	10:56	72.0	11:56	78.0
08:58	74.0	09:58	72.0	10:58	72.5	11:58	74.0
09:00	70.0	10:00	74.0	11:00	75.0	12:00	70.0
09:02	73.0	10:02	80.0	11:02	74.0	12:02	73.5
09:04	74.0	10:04	74.0	11:04	76.0	12:04	74.0
09:06	73.5	10:06	73.5	11:06	77.5	12:06	67.5
09:08	74.0	10:08	69.5	11:08	67.5	12:08	67.0
09:10	74.0	10:10	78.5	11:10	73.0	12:10	71.0
09:12	75.0	10:12	76.0	11:12	74.0	12:12	74.0
09:14	86.0	10:14	73.5	11:14	78.0	12:14	71.0
09:16	75.0	10:16	74.0	11:16	69.0	12:16	73.5
09:18	76.0	10:18	70.5	11:18	69.5	12:18	72.5
09:20	76.5	10:20	71.0	11:20	75.0	12:20	73.0
09:22	75.0	10:22	74.0	11:22	73.0	12:22	77.0
09:24	71.0	10:24	68.0	11:24	76.5	12:24	73.5
09:26	74.0	10:26	72.0	11:26	74.0	12:26	72.0
09:28	75.0	10:28	75.0	11:28	79.0	12:28	73.0

Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso IV Veracruz

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	72.0	02:00	67.0	03:30	74.5	05:00	
12:32	70.0	02:02	72.5	03:32	73.5	05:02	
12:34	72.0	02:04	74.5	03:34	74.5	05:04	
12:36	70.0	02:06	75.0	03:36	76.0	05:06	
12:38	73.5	02:08	76.0	03:38	77.5	05:08	
12:40	74.5	02:10	74.0	03:40	71.0	05:10	
12:42	78.5	02:12	71.5	03:42	73.5	05:12	
12:44	76.0	02:14	73.5	03:44	73.0	05:14	
12:46	73.0	02:16	73.0	03:46	75.5	05:16	
12:48	74.5	02:18	71.0	03:48	74.5	05:18	
12:50	75.5	02:20	72.5	03:50	76.0	05:20	
12:52	75.5	02:22	72.0	03:52	71.0	05:22	
12:54	83.0	02:24	74.0	03:54	73.5	05:24	
12:56	72.0	02:26	73.5	03:56	71.5	05:26	
12:58	72.5	02:28	70.0	03:58	77.5	05:28	
01:00	70.5	02:30	78.0	04:00	72.0	05:30	
01:02	70.0	02:32	75.5	04:02			
01:04	81.0	02:34	76.0	04:04			
01:06	74.0	02:36	71.5	04:06			
01:08	73.0	02:38	73.5	04:08			
01:10	69.0	02:40	72.0	04:10			
01:12	74.0	02:42	76.5	04:12			
01:14	72.0	02:44	73.5	04:14			
01:16	71.5	02:46	74.5	04:16			
01:18	72.0	02:48	76.0	04:18			
01:20	73.5	02:50	71.5	04:20			
01:22	71.0	02:52	70.0	04:22			
01:24	74.5	02:54	69.5	04:24			
01:26	69.5	02:56	69.0	04:26			
01:28	71.0	02:58	72.0	04:28			
01:30	73.5	03:00	73.5	04:30			
01:32	72.5	03:02	74.5	04:32			
01:34	75.5	03:04	76.0	04:34			
01:36	73.0	03:06	73.0	04:36			
01:38	71.0	03:08	77.5	04:38			
01:40	76.5	03:10	73.0	04:40			
01:42	74.5	03:12	74.5	04:42			
01:44	72.0	03:14	77.5	04:44			
01:46	77.5	03:16	78.0	04:46			
01:48	73.5	03:18	76.5	04:48			
01:50	71.5	03:20	71.5	04:50			
01:52	69.0	03:22	76.5	04:52			
01:54	70.5	03:24	71.5	04:54			
01:56	71.5	03:26	72.5	04:56			
01:58	69.0	03:28	70.5	04:58			

NIVELES DE RUIDO

Estación carretera México-Tuxpan Km 164+500 Fecha 28-Ago-02

DATOS GENERALES

Velocidad Proyecto	80 km /h
Pendiente	0,5%
TDPA	9 020
Tipo de Pavimento	Asfalto
Condiciones de la Carretera	Superficie en buenas condiciones

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30		09:30	71.0	10:30	75.0	11:30	71.0
08:32		09:32	74.0	10:32	74.5	11:32	71.5
08:34		09:34	74.5	10:34	73.5	11:34	71.5
08:36	75.0	09:36	75.0	10:36	71.0	11:36	70.5
08:38	74.5	09:38	70.0	10:38	68.5	11:38	70.0
08:40	73.5	09:40	73.0	10:40	74.0	11:40	69.0
08:42	74.0	09:42	76.5	10:42	73.0	11:42	71.5
08:44	72.0	09:44	72.0	10:44	70.0	11:44	70.0
08:46	73.0	09:46	71.5	10:46	73.5	11:46	71.0
08:48	69.5	09:48	70.0	10:48	69.0	11:48	70.5
08:50	75.5	09:50	71.5	10:50	69.5	11:50	73.0
08:52	74.0	09:52	71.5	10:52	73.0	11:52	73.5
08:54	72.0	09:54	68.0	10:54	70.0	11:54	74.0
08:56	71.0	09:56	71.5	10:56	72.0	11:56	70.5
08:58	69.5	09:58	73.5	10:58	73.0	11:58	73.5
09:00	75.5	10:00	72.5	11:00	70.0	12:00	72.5
09:02	70.0	10:02	69.0	11:02	72.5	12:02	71.5
09:04	75.5	10:04	72.5	11:04	74.5	12:04	70.0
09:06	71.0	10:06	73.0	11:06	74.0	12:06	68.0
09:08	74.0	10:08	80.0	11:08	76.0	12:08	72.0
09:10	72.5	10:10	74.5	11:10	73.0	12:10	72.0
09:12	68.5	10:12	75.0	11:12	67.5	12:12	70.0
09:14	72.5	10:14	75.0	11:14	72.0	12:14	69.0
09:16	72.5	10:16	74.0	11:16	71.0	12:16	75.0
09:18	75.0	10:18	71.0	11:18	67.0	12:18	77.5
09:20	72.0	10:20	75.0	11:20	74.0	12:20	72.5
09:22	72.5	10:22	68.0	11:22	79.0	12:22	72.5
09:24	72.5	10:24	74.0	11:24	68.0	12:24	71.5
09:26	70.5	10:26	73.0	11:26	64.0	12:26	70.5
09:28	67.5	10:28	72.5	11:28	80.0	12:28	72.0

Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso IV Veracruz

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	71.0	02:00	72.5	03:30	73.5	05:00	
12:32	70.0	02:02	75.5	03:32	74.5	05:02	
12:34	72.0	02:04	78.0	03:34	70.0	05:04	
12:36	66.0	02:06	76.5	03:36	78.0	05:06	
12:38	74.0	02:08	79.0	03:38	71.5	05:08	
12:40	68.5	02:10	78.5	03:40	73.5	05:10	
12:42	71.0	02:12	78.0	03:42	75.5	05:12	
12:44	75.0	02:14	78.0	03:44	70.0	05:14	
12:46	74.0	02:16	70.0	03:46	77.5	05:16	
12:48	72.0	02:18	77.0	03:48	69.5	05:18	
12:50	72.5	02:20	71.0	03:50	70.5	05:20	
12:52	73.0	02:22	73.5	03:52	67.0	05:22	
12:54	70.0	02:24	71.5	03:54	71.0	05:24	
12:56	74.0	02:26	74.5	03:56	77.5	05:26	
12:58	70.0	02:28	77.5	03:58	73.0	05:28	
01:00	72.5	02:30	77.0	04:00	76.5	05:30	
01:02	73.0	02:32	77.5	04:02			
01:04	73.5	02:34	78.5	04:04			
01:06	74.5	02:36	70.0	04:06			
01:08	75.5	02:38	73.5	04:08			
01:10	72.5	02:40	70.5	04:10			
01:12	73.0	02:42	69.0	04:12			
01:14	70.5	02:44	68.5	04:14			
01:16	77.0	02:46	69.5	04:16			
01:18	73.0	02:48	70.0	04:18			
01:20	70.5	02:50	67.0	04:20			
01:22	73.5	02:52	70.5	04:22			
01:24	71.5	02:54	72.5	04:24			
01:26	70.5	02:56	74.5	04:26			
01:28	72.0	02:58	73.5	04:28			
01:30	68.5	03:00	74.5	04:30			
01:32	68.5	03:02	72.5	04:32			
01:34	71.0	03:04	77.5	04:34			
01:36	76.5	03:06	77.5	04:36			
01:38	61.0	03:08	76.5	04:38			
01:40	72.0	03:10	70.5	04:40			
01:42	73.5	03:12	72.5	04:42			
01:44	72.0	03:14	78.0	04:44			
01:46	72.5	03:16	70.0	04:46			
01:48	71.5	03:18	79.0	04:48			
01:50	76.5	03:20	72.5	04:50			
01:52	77.5	03:22	78.0	04:52			
01:54	79.5	03:24	75.0	04:54			
01:56	78.5	03:26	76.0	04:56			
01:58	72.0	03:28	77.0	04:58			

NIVELES DE RUIDO

Estación Autopista Cardel-Veracruz Km .238+900 Fecha 29-Ago-02

DATOS GENERALES

Velde Proyecto	110 km /h
Pendiente	2.50%
TDPA	21.490
Tipo de Pavimento	Asfalto
Condiciones de la Carretera	Buenas condiciones

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30	70.0	09:30	72.5	10:30	70.0	11:30	73.0
08:32	69.5	09:32	71.5	10:32	74.5	11:32	71.5
08:34	72.5	09:34	70.5	10:34	72.5	11:34	72.0
08:36	69.5	09:36	71.0	10:36	72.5	11:36	76.0
08:38	72.0	09:38	71.0	10:38	71.0	11:38	74.5
08:40	73.0	09:40	70.5	10:40	73.0	11:40	71.0
08:42	71.0	09:42	70.0	10:42	71.0	11:42	74.0
08:44	71.0	09:44	71.0	10:44	74.5	11:44	71.0
08:46	70.0	09:46	73.0	10:46	77.5	11:46	69.0
08:48	71.0	09:48	72.0	10:48	76.0	11:48	72.5
08:50	73.0	09:50	73.0	10:50	77.5	11:50	69.5
08:52	72.5	09:52	78.5	10:52	71.0	11:52	76.5
08:54	71.5	09:54	72.5	10:54	69.0	11:54	70.0
08:56	67.5	09:56	73.0	10:56	69.5	11:56	69.5
08:58	70.0	09:58	74.0	10:58		11:58	68.0
09:00	70.0	10:00	73.0	11:00	78.5	12:00	61.5
09:02	73.0	10:02	70.0	11:02	71.0	12:02	72.5
09:04	71.0	10:04	70.0	11:04	78.0	12:04	73.5
09:06	71.5	10:06	74.5	11:06	77.0	12:06	75.5
09:08	71.0	10:08	71.0	11:08	75.5	12:08	76.5
09:10	70.0	10:10	71.0	11:10	74.5	12:10	77.5
09:12	77.5	10:12	71.5	11:12	76.5	12:12	73.5
09:14	72.5	10:14	73.0	11:14	77.0	12:14	74.0
09:16	74.0	10:16	71.5	11:16	79.0	12:16	72.5
09:18	69.5	10:18	70.0	11:18	80.0	12:18	70.5
09:20	72.5	10:20	71.5	11:20	81.5	12:20	73.0
09:22	71.5	10:22	73.5	11:22	74.5	12:22	70.0
09:24	74.0	10:24	72.0	11:24	73.0	12:24	76.5
09:26	71.0	10:26	74.5	11:26	73.0	12:26	74.0
09:28	70.5	10:28	71.5	11:28	72.5	12:28	75.0

Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso IV Veracruz

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	74.0	02:00	72.0	03:30	76.5	05:00	
12:32	73.5	02:02	77.0	03:32	74.5	05:02	
12:34	72.5	02:04	71.0	03:34	72.0	05:04	
12:36	76.5	02:06	70.0	03:36	73.0	05:06	
12:38	73.5	02:08	73.5	03:38	74.0	05:08	
12:40	77.5	02:10	73.5	03:40	75.0	05:10	
12:42	74.5	02:12	71.0	03:42	76.0	05:12	
12:44	74.5	02:14	76.0	03:44	74.0	05:14	
12:46	77.5	02:16	73.5	03:46	73.0	05:16	
12:48	76.0	02:18	74.5	03:48	73.0	05:18	
12:50	69.5	02:20	74.0	03:50	69.0	05:20	
12:52	70.0	02:22	71.5	03:52	74.5	05:22	
12:54	70.0	02:24	72.0	03:54	70.0	05:24	
12:56	71.5	02:26	68.0	03:56	76.5	05:26	
12:58	74.5	02:28	67.0	03:58	77.0	05:28	
01:00	71.0	02:30	69.5	04:00	71.0	05:30	
01:02	75.0	02:32	74.5	04:02			
01:04	72.0	02:34	72.5	04:04			
01:06	71.0	02:36	68.5	04:06			
01:08	76.5	02:38	74.0	04:08			
01:10	78.5	02:40	76.5	04:10			
01:12	77.0	02:42	78.0	04:12			
01:14	79.5	02:44	72.0	04:14			
01:16	78.0	02:46	79.0	04:16			
01:18	73.0	02:48	71.0	04:18			
01:20	75.5	02:50	78.5	04:20			
01:22	72.5	02:52	78.0	04:22			
01:24	73.5	02:54	76.5	04:24			
01:26	72.5	02:56	74.5	04:26			
01:28	72.5	02:58	74.5	04:28			
01:30	71.0	03:00	72.0	04:30			
01:32	77.5	03:02	71.0	04:32			
01:34	78.5	03:04	76.5	04:34			
01:36	79.0	03:06	72.5	04:36			
01:38	76.5	03:08	72.5	04:38			
01:40	79.5	03:10	79.0	04:40			
01:42	78.5	03:12	75.5	04:42			
01:44	79.5	03:14	71.0	04:44			
01:46	71.0	03:16	70.0	04:46			
01:48	76.0	03:18	70.0	04:48			
01:50	73.0	03:20	77.5	04:50			
01:52	74.5	03:22	69.0	04:52			
01:54	70.5	03:24	76.5	04:54			
01:56	69.5	03:26	74.0	04:56			
01:58	69.5	03:28	74.5	04:58			

NIVELES DE RUIDO

Estación Carretera Paso del Toro Acayucan Km 1+100 Fecha 30-Ago-02

DATOS GENERALES

Velocidad Proyecto	90 km /h
Pendiente	0.00%
TDPA	6.806
Tipo de Pavimento	Asfalto
Condiciones de la Carretera	Condiciones de regulares a medias

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30	72.0	09:30	71.0	10:30	73.0	11:30	71.0
08:32	73.0	09:32	75.0	10:32	75.0	11:32	73.0
08:34	73.0	09:34	73.0	10:34	75.5	11:34	76.0
08:36	71.0	09:36	73.0	10:36	72.5	11:36	70.0
08:38	74.0	09:38	68.5	10:38	70.0	11:38	71.0
08:40	77.0	09:40	75.0	10:40	70.0	11:40	73.0
08:42	72.0	09:42	70.5	10:42	70.0	11:42	72.5
08:44	76.0	09:44	73.0	10:44	71.5	11:44	73.0
08:46	73.0	09:46	71.5	10:46	64.5	11:46	70.0
08:48	75.0	09:48	76.5	10:48	70.5	11:48	72.0
08:50	72.5	09:50	71.0	10:50	51.0	11:50	69.5
08:52	76.0	09:52	71.5	10:52	77.0	11:52	72.5
08:54	71.0	09:54	72.0	10:54	73.5	11:54	67.0
08:56	72.0	09:56	77.0	10:56	73.0	11:56	72.0
08:58	75.0	09:58	73.0	10:58	70.0	11:58	73.5
09:00	70.0	10:00	73.5	11:00	72.5	12:00	71.5
09:02	72.0	10:02	76.5	11:02	70.0	12:02	70.5
09:04	70.0	10:04	73.5	11:04	73.5	12:04	68.0
09:06	72.0	10:06	70.0	11:06	74.0	12:06	70.0
09:08	67.0	10:08	71.5	11:08	69.0	12:08	71.5
09:10	80.0	10:10	73.5	11:10	70.5	12:10	74.0
09:12	71.0	10:12	73.0	11:12	71.5	12:12	69.5
09:14	68.0	10:14	73.5	11:14	80.0	12:14	70.0
09:16	73.0	10:16	72.0	11:16	71.5	12:16	72.0
09:18	73.5	10:18	75.0	11:18	75.0	12:18	68.5
09:20	74.0	10:20	70.0	11:20	70.0	12:20	76.0
09:22	74.0	10:22	70.5	11:22	73.0	12:22	70.0
09:24	71.0	10:24	73.0	11:24	71.0	12:24	73.0
09:26	72.5	10:26	72.0	11:26	78.0	12:26	74.5
09:28	75.0	10:28	70.5	11:28	77.0	12:28	67.0

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	75.0	02:00	77.5	03:30	73.5	05:00	
12:32	69.5	02:02	76.0	03:32	72.0	05:02	
12:34	73.0	02:04	73.5	03:34	74.0	05:04	
12:36	71.0	02:06	74.5	03:36	75.0	05:06	
12:38	71.0	02:08	70.0	03:38	70.0	05:08	
12:40	70.0	02:10	73.5	03:40	73.5	05:10	
12:42	72.0	02:12	73.5	03:42	69.0	05:12	
12:44	70.0	02:14	74.5	03:44	72.0	05:14	
12:46	73.0	02:16	70.5	03:46	67.0	05:16	
12:48	75.0	02:18	76.5	03:48	71.5	05:18	
12:50	71.0	02:20	71.5	03:50	69.5	05:20	
12:52	73.0	02:22	77.5	03:52	74.5	05:22	
12:54	71.0	02:24	73.5	03:54	73.0	05:24	
12:56	71.0	02:26	73.0	03:56	77.0	05:26	
12:58	72.0	02:28	72.0	03:58	71.0	05:28	
01:00	77.0	02:30	76.5	04:00	76.5	05:30	
01:02	77.0	02:32	77.0	04:02			
01:04	73.0	02:34	74.5	04:04			
01:06	72.0	02:36	77.5	04:06			
01:08	71.0	02:38	78.0	04:08			
01:10	74.0	02:40	78.5	04:10			
01:12	77.0	02:42	77.0	04:12			
01:14	72.0	02:44	79.0	04:14			
01:16	71.0	02:46	76.5	04:16			
01:18	75.0	02:48	77.0	04:18			
01:20	71.0	02:50	77.5	04:20			
01:22	74.5	02:52	78.5	04:22			
01:24	70.0	02:54	77.5	04:24			
01:26	73.5	02:56	70.0	04:26			
01:28	72.5	02:58	76.5	04:28			
01:30	71.0	03:00	71.0	04:30			
01:32	73.0	03:02	73.0	04:32			
01:34	71.0	03:04	74.5	04:34			
01:36	74.5	03:06	76.0	04:36			
01:38	72.5	03:08	71.0	04:38			
01:40	75.0	03:10	78.0	04:40			
01:42	69.0	03:12	70.0	04:42			
01:44	76.5	03:14	75.5	04:44			
01:46	74.5	03:16	79.0	04:46			
01:48	73.5	03:18	81.0	04:48			
01:50	76.0	03:20	78.5	04:50			
01:52	74.0	03:22	73.5	04:52			
01:54	74.5	03:24	74.5	04:54			
01:56	73.0	03:26	76.5	04:56			
01:58	78.5	03:28	78.5	04:58			

NIVELES DE RUIDO

Estación Carretera Xalapa-Veracruz Km 3+3000 Fecha 03-Sep-02

DATOS GENERALES

Velocidad Proyecto	80 km /h
Pendiente	1.50%
TDPA	19.330
Tipo de Pavimento	Asfalto
Condiciones de la Carretera	Buenas condiciones

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30	74.0	09:30	72.0	10:30	71.0	11:30	71.5
08:32	71.0	09:32	71.0	10:32	70.5	11:32	72.0
08:34	73.5	09:34	71.5	10:34	74.5	11:34	74.0
08:36	72.5	09:36	73.0	10:36	71.0	11:36	73.5
08:38	72.0	09:38	72.5	10:38	73.0	11:38	71.5
08:40	74.0	09:40	76.5	10:40	74.0	11:40	71.5
08:42	71.5	09:42	72.0	10:42	71.5	11:42	68.5
08:44	75.0	09:44	73.0	10:44	72.0	11:44	73.0
08:46	72.0	09:46	73.0	10:46	70.5	11:46	71.0
08:48	75.5	09:48	74.5	10:48	71.0	11:48	71.0
08:50	79.0	09:50	71.0	10:50	68.0	11:50	72.0
08:52	73.5	09:52	72.0	10:52	72.0	11:52	69.5
08:54	73.0	09:54	70.0	10:54	75.5	11:54	74.0
08:56	72.5	09:56	74.0	10:56	73.5	11:56	69.5
08:58	73.0	09:58	72.5	10:58	72.0	11:58	68.5
09:00	71.5	10:00	71.5	11:00	70.0	12:00	74.0
09:02	72.0	10:02	74.5	11:02	73.0	12:02	71.5
09:04	74.5	10:04	73.5	11:04	70.5	12:04	72.0
09:06	73.0	10:06	78.0	11:06	71.5	12:06	70.0
09:08	73.5	10:08	72.0	11:08	71.5	12:08	71.5
09:10	71.0	10:10	73.0	11:10	72.5	12:10	73.0
09:12	73.5	10:12	72.5	11:12	70.5	12:12	69.0
09:14	70.5	10:14	73.3	11:14	74.0	12:14	72.0
09:16	73.5	10:16	73.0	11:16	73.0	12:16	72.0
09:18	74.0	10:18	70.5	11:18	70.5	12:18	73.0
09:20	70.0	10:20	75.5	11:20	70.0	12:20	72.5
09:22	71.5	10:22	72.0	11:22	70.5	12:22	71.0
09:24	75.5	10:24	71.5	11:24	70.0	12:24	69.5
09:26	76.5	10:26	70.5	11:26	70.0	12:26	71.5
09:28	72.5	10:28	70.5	11:28	70.5	12:28	72.0

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	73.3	02:00	73.5	03:30	76.0	05:00	
12:32	71.0	02:02	73.0	03:32	77.0	05:02	
12:34	81.0	02:04	72.5	03:34	72.5	05:04	
12:36	72.0	02:06	71.0	03:36	77.0	05:06	
12:38	72.0	02:08	72.5	03:38	76.5	05:08	
12:40	73.0	02:10	70.5	03:40	70.5	05:10	
12:42	74.5	02:12	74.5	03:42	71.0	05:12	
12:44	70.0	02:14	74.5	03:44	73.5	05:14	
12:46	71.5	02:16	71.5	03:46	74.5	05:16	
12:48	71.5	02:18	73.0	03:48	73.5	05:18	
12:50	72.5	02:20	73.5	03:50	71.0	05:20	
12:52	72.0	02:22	73.0	03:52	70.5	05:22	
12:54	71.0	02:24	74.0	03:54	73.0	05:24	
12:56	73.0	02:26	71.5	03:56	73.5	05:26	
12:58	73.0	02:28	73.0	03:58	76.4	05:28	
01:00	76.5	02:30	72.0	04:00	74.5	05:30	
01:02	71.0	02:32	79.0	04:02			
01:04	70.5	02:34	73.0	04:04			
01:06	75.0	02:36	74.0	04:06			
01:08	71.5	02:38	73.5	04:08			
01:10	75.0	02:40	73.5	04:10			
01:12	71.5	02:42	70.5	04:12			
01:14	71.0	02:44	73.5	04:14			
01:16	73.0	02:46	74.0	04:16			
01:18	73.0	02:48	71.5	04:18			
01:20	71.0	02:50	72.5	04:20			
01:22	70.0	02:52	72.5	04:22			
01:24	73.0	02:54	72.0	04:24			
01:26	74.0	02:56	76.0	04:26			
01:28	74.0	02:58	77.0	04:28			
01:30	72.5	03:00	75.0	04:30			
01:32	72.5	03:02	71.5	04:32			
01:34	73.5	03:04	73.0	04:34			
01:36	72.5	03:06	71.5	04:36			
01:38	72.5	03:08	73.0	04:38			
01:40	72.0	03:10	76.5	04:40			
01:42	71.5	03:12	76.5	04:42			
01:44	71.0	03:14	73.0	04:44			
01:46	73.5	03:16	74.0	04:46			
01:48	74.0	03:18	74.0	04:48			
01:50	72.5	03:20	71.5	04:50			
01:52	72.0	03:22	73.5	04:52			
01:54	71.5	03:24	73.5	04:54			
01:56	76.0	03:26	72.5	04:56			
01:58	71.0	03:28	74.0	04:58			

NIVELES DE RUIDO

Estación Carretera San Hipolito -Xalapa. Km .145+010 Fecha 04-Sep-02

DATOS GENERALES

Velde Proyecto	60 km /h
Pendiente	5.00%
TDPA	9 840
Tipo de Pavim ento	Asfalto
Condiciones de la Carretera	Buenas condiciones

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
08:30	67.0	09:30	78.0	10:30	75.0	11:30	70.0
08:32	75.5	09:32	75.5	10:32	68.5	11:32	73.5
08:34	78.0	09:34	69.0	10:34	67.0	11:34	72.5
08:36	79.0	09:36	70.0	10:36	66.0	11:36	67.0
08:38	70.0	09:38	70.0	10:38	75.0	11:38	75.0
08:40	70.0	09:40	70.0	10:40	66.5	11:40	73.0
08:42	71.5	09:42	72.0	10:42	69.0	11:42	71.0
08:44	87.5	09:44	74.5	10:44	71.5	11:44	79.0
08:46	80.0	09:46	76.5	10:46	69.0	11:46	70.0
08:48	71.5	09:48	73.5	10:48	72.5	11:48	70.5
08:50	72.5	09:50	74.0	10:50	65.0	11:50	69.0
08:52	71.0	09:52	74.5	10:52	78.0	11:52	77.0
08:54	76.5	09:54	77.5	10:54	72.0	11:54	68.5
08:56	72.0	09:56	76.0	10:56	78.0	11:56	70.5
08:58	65.0	09:58	69.0	10:58	69.0	11:58	72.5
09:00	71.5	10:00	69.0	11:00	74.5	12:00	67.0
09:02	72.5	10:02	77.5	11:02	71.5	12:02	69.0
09:04	68.0	10:04	66.0	11:04	70.0	12:04	68.0
09:06	67.5	10:06	68.0	11:06	79.5	12:06	70.5
09:08	64.5	10:08	65.0	11:08	65.5	12:08	65.5
09:10	84.0	10:10	74.5	11:10	71.5	12:10	71.0
09:12	83.5	10:12	71.0	11:12	68.5	12:12	72.0
09:14	83.0	10:14	73.5	11:14	85.5	12:14	72.5
09:16	76.0	10:16	74.5	11:16	66.5	12:16	72.0
09:18	65.0	10:18	70.5	11:18	67.5	12:18	74.0
09:20	71.5	10:20	74.0	11:20	76.0	12:20	76.0
09:22	80.5	10:22	68.0	11:22	70.0	12:22	76.5
09:24	74.5	10:24	71.0	11:24	70.0	12:24	72.5
09:26	69.0	10:26	77.0	11:26	71.5	12:26	70.0
09:28	74.0	10:28	69.5	11:28	68.5	12:28	70.0

Estudio del Ruido Generado por la Operación del Transporte Carretero. Caso IV Veracruz

Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura	Hora	Lectura
12:30	73.5	02:00	80.0	03:30	70.0	05:00	
12:32	74.5	02:02	71.5	03:32	73.5	05:02	
12:34	76.0	02:04	72.5	03:34	72.5	05:04	
12:36	79.0	02:06	71.0	03:36	67.0	05:06	
12:38	77.5	02:08	76.5	03:38	75.0	05:08	
12:40	78.0	02:10	72.0	03:40	73.0	05:10	
12:42	74.0	02:12	65.0	03:42	71.0	05:12	
12:44	79.0	02:14	71.5	03:44	79.0	05:14	
12:46	83.0	02:16	72.5	03:46	70.0	05:16	
12:48	79.5	02:18	68.0	03:48	70.5	05:18	
12:50	85.0	02:20	67.5	03:50	69.0	05:20	
12:52	73.5	02:22	64.5	03:52	77.0	05:22	
12:54	70.0	02:24	84.0	03:54	68.5	05:24	
12:56	77.5	02:26	83.5	03:56	70.5	05:26	
12:58	78.5	02:28	83.0	03:58	72.5	05:28	
01:00	77.0	02:30	76.0	04:00	67.0	05:30	
01:02	72.0	02:32	65.0	04:02			
01:04	74.5	02:34	71.5	04:04			
01:06	76.5	02:36	80.5	04:06			
01:08	73.5	02:38	74.5	04:08			
01:10	74.0	02:40	69.0	04:10			
01:12	74.5	02:42	74.0	04:12			
01:14	77.5	02:44	72.5	04:14			
01:16	76.0	02:46	67.0	04:16			
01:18	69.0	02:48	69.0	04:18			
01:20	69.0	02:50	68.0	04:20			
01:22	77.5	02:52	70.5	04:22			
01:24	66.0	02:54	65.5	04:24			
01:26	68.0	02:56	71.0	04:26			
01:28	65.0	02:58	72.0	04:28			
01:30	74.5	03:00	72.5	04:30			
01:32	71.0	03:02	72.0	04:32			
01:34	73.5	03:04	74.0	04:34			
01:36	74.5	03:06	76.0	04:36			
01:38	70.5	03:08	76.5	04:38			
01:40	74.0	03:10	72.5	04:40			
01:42	68.0	03:12	70.0	04:42			
01:44	71.0	03:14	70.0	04:44			
01:46	77.0	03:16	75.0	04:46			
01:48	70.5	03:18	68.5	04:48			
01:50	72.5	03:20	67.0	04:50			
01:52	67.0	03:22	66.0	04:52			
01:54	69.0	03:24	75.0	04:54			
01:56	68.0	03:26	66.5	04:56			
01:58	70.5	03:28	69.0	04:58			

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>
publicaciones@imt.mx