



EVOLUCIÓN DEL RUIDO CARRETERO EN EL ESTADO DE QUERETARO 2000-2005

Miguel Antonio Flores Puente
Rodolfo Téllez Gutiérrez
Juan Fernando Mendoza Sánchez
Octavio A. Rascón Chávez

**Publicación Técnica No 280
Sanfandila, Qro, 2005**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Evolución del ruido carretero en el estado de Querétaro
2000-2005

Publicación Técnica No 280
Sanfandila, Qro, 2005

Esta investigación fue realizada en el Área de Medio Ambiente, de la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el Quím Miguel Antonio Flores Puente y el Ing Fernando Mendoza Sánchez, ambos investigadores del IMT; por el M en C Rodolfo Téllez Gutiérrez, Coordinador de Infraestructura del IMT; y el Dr Octavio A Rascón Chávez, Director General del IMT.

Se hace un especial reconocimiento a los becarios de la Universidad Tecnológica de Querétaro, TSU Israel García Hernández y TSU Gabriel Cruz Ruiz, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo, a la vez que se reconoce el apoyo del Ing Raúl Vicente Orozco Escoto para elaborar el escrito.

Índice

	Página
Resumen	v
Abstract	vii
Resumen ejecutivo	ix
Capítulo 1 Introducción	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	3
Capítulo 2 Marco teórico	5
2.1 Ruido	5
2.2 Sonido	6
2.3 Velocidad del sonido	6
2.4 Cualidades del sonido	7
2.5 Contaminación por ruido	7
2.6 Límites admisibles de ruido	16
2.7 Efectos en el ser humano	16
2.8 Normatividad en México	19
2.9 Normatividad en otros países	21
2.10 Indicadores	32
Capítulo 3 Desarrollo del estudio	41
3.1 Aspectos geográficos del estado de Querétaro	41
3.2 Ubicación de puntos representativos en función de las carreteras de Querétaro	43
3.3 Estudio de campo	44
3.4 Sitios carreteros del estudio 2005	48
3.5 Resumen de resultados del estudio de 2000	54
Capítulo 4 Procesamiento y análisis estadístico de datos	57
Capítulo 5 Conclusiones	65
Referencias	67
Anexos	69

Resumen

En el año 2000 el Instituto Mexicano del Transporte inició una línea de investigación referida a la generación de ruido en algunas de las carreteras más importantes de diversos estados de la República Mexicana, con objeto de cuantificar los niveles de ruido y establecer criterios de regulación del mismo (ref 2,3,4,5,12).

El trabajo de investigación se inició en las principales carreteras del estado de Querétaro después de varios recorridos por su red carretera. Se evaluaron algunos tramos representativos, y se tomó la determinación de seleccionar 10 puntos críticos, donde el efecto del ruido generado por la operación del transporte pudiera tener impactos negativos en la población circunvecina, o en los mismos usuarios.

Se realizaron las mediciones correspondientes con equipos especializados, y con ellos se registró el nivel de ruido equivalente, Leq, de 60 s, con intervalos de 2 min entre las 8:30 y las 16:00 h. Se obtuvieron en total 225 lecturas por punto, dando en conjunto 2 250 datos.

Después del análisis de los datos se encontró que para el caso de Querétaro, el ruido carretero generado por la operación del transporte rebasa los límites máximos permisibles reportados en la normatividad internacional; de ahí que se decidió aplicar la misma tecnología en carreteras de Guadalajara, Monterrey y Veracruz, y realizar una comparación entre los resultados de cada sitio.

Dado que en todos los sitios estudiados, los niveles de ruido fueron muy altos, el IMT se dio a la tarea de realizar una propuesta de normatividad para regular el ruido en las carreteras nacionales (ref 12).

Debido a lo anterior, se decidió realizar un segundo proyecto de medición de niveles de ruido en las principales carreteras de Querétaro, con la principal finalidad de comparar los valores de ambos estudios, y ver de qué manera ha evolucionado la generación de ruido en estos años, y al mismo tiempo hacer un primer intento de construcción de un indicador ambiental de ruido que sirva de referencia para el seguimiento de este impacto ambiental en años próximos.

En este informe se presentan los resultados de las mediciones realizadas y de los análisis estadísticos, así como las conclusiones y recomendaciones que se generaron con el análisis de los datos. Un breve resumen de éstas es:

1. El ruido, ya de por sí intenso, creció en todos los sitios carreteros, del 2000 al 2005, con tasas variables de un sitio a otro

2. Se encontró buena correlación positiva entre los valores de las cuatro Leq del 2005 con los del 2000, lo cual confirma que el ruido va creciendo con el tiempo
3. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA total, lo cual pronostica un crecimiento de los niveles de ruido
4. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA de tránsito pesado solamente, lo cual prevé un crecimiento de los niveles de ruido
5. El ruido registrado en los dos años fue mayor en el sitio en el que la carpeta del pavimento es de concreto hidráulico (carretera México-Querétaro, km193+050), que en los tramos de asfalto.

Abstract

In the 2000 year the Mexican Institute of the Transport initiated a line of investigation with regard to the generation of noise in some of the most important highways of some states of the Mexican Republic in order to quantify the levels of noise and to establish systems of regulation of the same one (references 2,3,4,5,12).

This work began in the highways of Querétaro city after several crossed by the net did highway of the State. Some representative sections were evaluated and there was taken the decision to select 10 critical points where the effect of the noise produced by the operation of the transport could have negative impacts in the neighbouring population or in the same users.

The corresponding measurements were realized by specialized equipments of noise measurement where there were registered the readings of the level of equivalent noise L_{eq} of 60 seconds by intervals of two minutes between 8:30 and 16:00 hours. 225 readings were obtained in whole by point, giving as a whole 2 250 information in whole.

The analysis of the information was realized and one thought that for Querétaro's specific case, the noise generated by the operation of the transport exceeds the maximum permissible limits reported in the international norms, due to this it was decided to realize the same measurement of noise in highways of the cities of Guadalajara, Monterrey and Veracruz due to the importance that they represent inside the national context and with the aim to realize a comparison between the results of all the readings of every city.

Provided that one thought that in all the studied cities the levels of noise are very high, the IMT was given to the task of realizing an offer of norm for the regulation of the noise in national highways.

Due to this it was decided to realize the second project of level measurement of noise in the principal highways of Querétaro with the principal purpose of comparing the values of both studies and of seeing of that way the generation of noise has evolved in these years and at the same time to do the first attempt of construction of an environmental indicator of noise that uses as reference to the follow-up of this environmental impact in the next years.

Resumen ejecutivo

En el año 2000, el Instituto Mexicano del Transporte, IMT inició una línea de investigación respecto a la evaluación del ruido en algunas de las carreteras más importantes de la República Mexicana, con objeto de cuantificar los niveles de ruido, y proponer criterios de regulación del mismo (ref 2,3,4,5,12).

Ese trabajo de investigación se inició en las carreteras de la ciudad de Querétaro después de varios recorridos por la red carretera del estado. Se evaluaron algunos tramos representativos, y se tomó la determinación de seleccionar 10 puntos críticos donde el efecto del ruido producido por la operación del transporte pudiera tener impactos negativos en la población circunvecina, o en los mismos usuarios.

El ruido es un factor muy importante que se debe estudiar, debido a que se ha catalogado como un contaminante ambiental que afecta a las personas. Sin embargo, ya que no se perciben con claridad y de inmediato los daños que pueden ocasionar, en los últimos años se ha reconocido que el ruido es un problema grave no sólo en México, sino también en otros países.

Existe fuerte necesidad de estudiar la problemática que genera el ruido por la operación del transporte, y por la convicción de establecer medidas de control en el ámbito de concentración de este fenómeno, identificando los puntos críticos donde el nivel de ruido que genera el tránsito de vehículos es molesto, al grado que perturbe la tranquilidad y la calidad de vida de la población establecida en la cercanía de las carreteras.

Por lo anterior, el Instituto Mexicano del Transporte realizó un estudio piloto del ruido generado por la operación de transporte en las principales carreteras de Querétaro, y en el 2005 se repitió el estudio en los mismos cinco puntos de medición, para conocer la evolución que ha tenido en cinco años (tabla 1).

Tabla 1.

Puntos establecidos para el estudio de ruido en el estado de Querétaro

Punto	Carretera	Sentido
1	México – Querétaro, km 193 + 050	Querétaro
2	México – Querétaro, km 208 + 200	México
3	Querétaro – Celaya (Libre), km 10 + 000	Querétaro
4	Querétaro – San Luis Potosí, km 12 + 800	San Luis Potosí
5	Querétaro – San Luis Potosí, km 26 + 200	San Luis Potosí

En este periodo de cinco años, se ha visto un desarrollo constante en el estado Querétaro, y se han tomado medidas de modificación y ampliación en la infraestructura carretera para evitar congestionamientos, y eficientar el movimiento de los vehículos en las principales ciudades y de los que van de paso hacia otros destinos.

En las tablas 2 y 3 se puede ver el reporte del tránsito promedio diario anual, TDPA, en los años 2000 y 2005, respectivamente; al compararlas se aprecia un incremento importante en el TDPA en todos los sitios, así como un aumento significativo en el porcentaje de tránsito pesado (tipo C) en los dos puntos de la carretera México – Querétaro.

Tabla 2.

TDPA registrado en el año 2000

ESTACIONES DE ESTUDIO	TDPA		TDPA	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		
	IDA	REGRESO	(Ambos sentidos de circulación)	A	B	C
Carretera México – Querétaro, km 208+200	18974	18744	37718	74%	9%	17%
Carretera México – Querétaro, km 193+050	16295	16030	32325	73%	9%	18%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	10394	10449	20843	75%	6%	19%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	7881	7835	15716	77%	5%	19%
Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (libre)	5282	5282	10564	65%	6%	29%

Tabla 3.

TDPA registrado en el año 2005

ESTACIONES DE ESTUDIO	TDPA		TDPA	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		
	IDA	REGRESO	(Ambos sentidos de circulación)	A	B	C
Carretera México – Querétaro, km 208+200	22521	22133	44654	69%	6%	25%
Carretera México – Querétaro, km 193+050	24253	24091	48344	66%	6%	29%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	16585	16217	32802	78%	6%	17%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	13414	13547	26961	77%	6%	18%
Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (libre)	8472	8332	16804	78%	5%	18%

Los objetivos para este trabajo son:

- ✚ Realizar un estudio de campo en las principales carreteras de Querétaro, para obtener datos cuantitativos de los niveles de ruido
- ✚ Comparar los datos obtenidos en la investigación del 2000 con los del presente estudio
- ✚ Contribuir a la formación de indicadores ambientales en materia de ruido carretero, para integrarlos en el estudio de los índices de sustentabilidad de la entidad
- ✚ Dar seguimiento y complementar la línea de investigación de ruido carretero, para reforzar y sustentar la necesidad de una normativa nacional propuesta por el IMT

En la tabla 4 se presentan los valores del nivel de ruido, medido por los parámetros Leq (total), Leq 50, Leq 10, y Leq (h), correspondientes a 2000 y 2005.

Tabla 4.

Resumen de resultados obtenidos en los dos estudios realizados en los años 2000 y 2005

Estaciones de estudio	Leq (total)		Leq 50		Leq10		Leq(h)	
	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005
Carretera México-Querétaro, km 208+200	77,3	85,2	79,0	85,0	77,0	86,1	80,5	85,1
Carretera México-Querétaro, km 193+050	80,6	88,2	81,5	87,8	80,5	89,4	83,0	87,9
Carretera Querétaro-San Luis Potosí, km 12+800	78,3	79,4	79,3	79,5	77,8	82,0	81,0	80,4
Carretera Querétaro-San Luis Potosí, km 26+200	76,2	80,7	77,0	80,0	76,0	83,0	79,0	80,9
Carretera Querétaro-Celaya, km 10+000	75,0	78,4	76,5	77,0	73,5	81,6	77,8	79,6

Conclusiones

El problema de ruido ambiental generado por la operación de transporte en las carreteras en Querétaro provoca molestia, perturba la tranquilidad y reduce la calidad de vida de las personas. Esta es una de las razones importantes por las cuales se realizó la investigación sobre el ruido en carreteras.

Se realizaron trabajos de campo en las principales carreteras de Querétaro, con el fin de obtener datos cuantitativos para evaluar y clasificar los niveles de ruido a los que están expuestas las personas; principalmente las que habitan cerca de las principales carreteras, así como algunas poblaciones aledañas a éstas, y conocer su evolución del 2000 al 2005.

El resumen de las conclusiones que resultaron del análisis estadístico de los datos de ruido, es:

1. El ruido, ya de por sí intenso, creció en todos los sitios carreteros, del año 2000 al 2005, con tasas variables de un sitio a otro, llegando a valer 88,31db, con un incremento promedio de los cuatro indicadores, Leq, de 1,37db por año en la carretera México – Querétaro, km 193+050, en la que se observó el mayor crecimiento total de 9,08db en Leq 10 en los cinco años.
2. Se encontró buena correlación positiva entre los valores de las cuatro Leq del año 2005 con los del 2000, lo cual confirma que el ruido va creciendo con el tiempo. Estos incrementos, al igual que los de la conclusión anterior, se explican principalmente por los ascensos significativos que tuvieron los

TDPA en las carreteras, según se señala enseguida en las conclusiones 3 y 4.

3. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA total, lo cual pronostica un crecimiento de los niveles de ruido que va de 2,540 a 3,265db por cada incremento de 10 000 vehículos en el TDPA, que ocurra a lo largo del tiempo.
4. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA de tránsito pesado solamente, lo cual prevé un crecimiento de los niveles de ruido que va de 0,69 a 0,94db por cada incremento de 1 000 vehículos pesados en el TDPA(pesado), que suceda a lo largo del tiempo.
5. El ruido registrado en los dos años fue mayor en el sitio en el que la carpeta del pavimento es de concreto hidráulico (carretera México-Querétaro, km193+050), que en los tramos de asfalto. En particular, al comparar este sitio con el de asfalto, km 208+200, de la misma carretera, el diferencial de ruido explicable por el concepto del material de la carpeta resultó superior en el 193+050, con diferencias de 0,64 a 3,44db.

Por todo lo anterior, la recomendación que surge de esta investigación, es que dado que en todos los casos el nivel de ruido excede las normas internacionales al respecto, y a que éste se incrementa con el tiempo y con el TDPA, tanto total como pesado, que a su vez también es creciente, se reitera la necesidad de crear y expedir una norma para lograr que el ruido se mantenga en niveles aceptables internacionalmente en las carreteras mexicanas. La propuesta de norma que ha hecho el IMT para esto (ref 12), es la de limitar inicialmente el Leq (total) a 75db, con una reducción paulatina de 1db cada año, durante 10 años, hasta llegar a los 65db que propone la OCDE para horario diurno en tramos que cruzan zonas habitacionales.

1 Introducción

El ruido es un factor muy importante que se debe estudiar en virtud de que se ha catalogado mundialmente como un contaminante ambiental que afecta directamente a las personas. Sin embargo, dado que no se perciben de manera inmediata los daños que puede llegar a ocasionar, en los últimos años se ha reconocido que el ruido es un problema grave no sólo en México, sino también en diferentes países.

En México no se cuenta con una normatividad que regule los niveles de ruido del transporte en carreteras; por eso la definición y aplicación de indicadores ambientales surge como una de las múltiples respuestas a la necesidad de lograr el desarrollo sustentable, a partir del diseño de indicadores que muestren de forma real, qué tan cerca o lejos estamos de un problema ambiental.

Con el fin de contribuir a un mejoramiento sustancial del medio ambiente y de la calidad de vida, a través de una concientización más profunda de toda la sociedad y del Gobierno, acerca de las condiciones del deterioro ambiental y de las acciones necesarias para revertirlo, la creación un indicador ambiental permitirá tomar decisiones basadas en información y en fundamentos técnicos y científicos, que señalen puntos importantes en el desempeño ambiental y su relación con las condiciones socioeconómicas de la entidad, toda vez que los indicadores han sido una herramienta eficaz a través de la cual los datos ambientales, que pueden llegar a ser complejos, se transformen en una vía de análisis y comunicación sencilla.

1.1 Antecedentes

El ruido es generado por el modo de vida moderno: es una sensación auditiva molesta y una de las perturbaciones ambientales que de manera muy importante afecta a la sociedad establecida en ciudades o en tramos carreteros, donde el tránsito vehicular es constante, y cada vez es más elevado por el continuo aumento de la población y del el parque vehicular; el ruido en muchas ocasiones, no es medido por sus efectos pues no suele manifestarse de forma inmediata ni tan evidente como otros contaminantes que degradan el medio ambiente.

Se considera que el ruido en niveles altos y constantes es un problema para el medio ambiente y para la salud de las personas, ya que genera daños fisiológicos y psicológicos.

Estudios realizados por países de la Unión Europea, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), han considerado los altos niveles de ruido que se generan en las ciudades y carreteras, ya que se ha calificado como un problema que puede afectar la salud, la calidad de vida, y el medio ambiente.

En el 2000, el Instituto Mexicano del Transporte inició una línea de investigación respecto a la generación de ruido en algunas de las carreteras más importantes de la República Mexicana, con objeto de conocer los niveles de ruido y establecer criterios de regulación del mismo.

Ese trabajo se inició en las carreteras del estado de Querétaro, después de varios recorridos por la red carretera de la entidad. Se evaluaron algunos tramos representativos y se tomó la determinación de seleccionar 10 puntos críticos, donde el efecto del ruido producido por la operación del transporte pudiera tener impactos negativos en la población circunvecina, o en los mismos usuarios.

Se realizaron las mediciones correspondientes con equipos especializados, con los cuales se registraron las lecturas del nivel de ruido equivalente Leq de 60 s, e intervalos de 2 min, entre las 8:30 y las 16: 00 h. Se obtuvieron en total 225 lecturas por punto, dando en conjunto 2 250 datos.

Del análisis de los datos se encontró que para el caso específico de Querétaro, el ruido carretero generado por el transporte rebasa los límites máximos permisibles reportados en la normatividad internacional. Por ello se decidió aplicar la misma medición de ruido en carreteras de Guadalajara, Monterrey y Veracruz, con el propósito de una comparación entre los resultados de todas las lecturas de cada sitio.

Dado que en todos los puntos estudiados, los niveles de ruido son muy altos, el IMT se dio a la tarea de una propuesta de normatividad para la regulación del ruido en carreteras nacionales (ref 12).

1.2 Definición del problema

La realización del estudio resultó de la necesidad de conocer la evolución de la problemática del ruido generado por la operación del transporte, y de continuar proponiendo las medidas de control de este fenómeno, identificando los puntos críticos donde el nivel de ruido sea molesto y perturbe la tranquilidad, perjudicando la calidad de vida de la población en la cercanía de las principales carreteras del estado de Querétaro, por ser uno de los que está en constante crecimiento económico e industrial, como también de población y del parque vehicular.

1.3 Justificación

En el año 2000, el Instituto Mexicano del Transporte realizó un estudio del ruido generado por la operación de transporte en las principales carreteras de Querétaro y ahora, en el 2005, se continuó el estudio en los mismos puntos de medición, para conocer si hay diferencias en las lecturas tomadas en campo, una comparación de resultados, y algunos pronósticos y recomendaciones.

Con la inquietud de proponer medidas de control del ruido que genera el tránsito vehicular en las carreteras de Querétaro, por ser un problema ambiental que no se controla fácilmente e incluso pueden pasar varios años para aplicar normas de control, es de gran interés realizar estudios periódicos de campo, e incluso diseñar un indicador ambiental que arroje respuestas sobre el impacto en el ambiente y en las personas afectadas. El ruido es un fenómeno difícil de estudiar, y en el momento de medirlo intervienen muchos factores como el de infraestructura y el de los vehículos.

1.4 Objetivos

1. Realizar un estudio de campo en las principales carreteras de Querétaro, para obtener datos cuantitativos de los niveles de ruido
2. Comparar los datos obtenidos en la investigación del año 2000 con los del presente estudio
3. Contribuir a la formación de indicadores ambientales en materia de ruido carretero, para integrarlos en el estudio de los índices de sustentabilidad de la entidad
4. Dar seguimiento y complementar la línea de investigación de ruido carretero para reforzar y sustentar la necesidad de una normativa nacional propuesta por el IMT

2 Marco teórico

2.1 Ruido

Puede definirse como ruido, cualquier sonido que sea desagradable; sin embargo, el nivel para que un ruido pueda ser molesto no solo 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 de la integración de la fisiología, la psicología, la sociología y otras disciplinas, para ser correctamente interpretado.

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

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

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.

Características del sonido. Para un mismo nivel de ruido e igual tiempo de exposición, la molestia depende de características del sonido: espectro de frecuencia, ritmo, etc.

Receptor. No todas las personas consideran el mismo grado de molestia para el ruido; depende de factores físicos, sensibilidad auditiva, y en mayor medida de factores culturales.

Actividad del receptor. Para un mismo sonido, dependiendo de la actividad del receptor, este 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.

Expectativas y calidad de vida. En este punto se engloban aquellos aspectos subjetivos, difíciles de evaluar al relacionarse con la calidad de vida de personas de ciertos grupos, las exigencias de calidad ambiental para el tiempo, y los espacios dedicados al ocio, siendo muy superiores a las de las otras situaciones.

2.2 El sonido

Se origina por las vibraciones de un cuerpo sonoro. Está formado por ondas que se propagan a través de un medio, que puede ser líquido, gaseoso o sólido; De ahí que sea indispensable un medio transmisor para que exista sonido; esa es la razón por la cual en el espacio interestelar no exista sonido, ya que no se compone de ningún elemento material con la capacidad de propagar ondas.

El sonido llega a nosotros gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten sus ondas.

2.3 Velocidad del sonido

Varía dependiendo del medio transmisor de éste. El aire es el principal medio propagador del sonido; y la velocidad en él es de 331,3 m/s. En el agua, la velocidad del sonido es de 1 450 m/s, ya que las partículas están más juntas y propagan antes sus vibraciones. La velocidad del sonido también depende de la temperatura; cuanto mayor es la temperatura, mas grande es la rapidez con la que se desplazan las ondas.

Las ondas sonoras son esferas concéntricas producidas por la contracción y dilatación que experimentan las moléculas de aire cuando se le comunican las vibraciones de un cuerpo sonoro, y se van ampliando y mitigando con la distancia hasta que se acaban perdiendo.

Se denomina frecuencia al número de ondas que caben en un tiempo determinado y se mide en Hertz.

Amplitud se refiere a la magnitud que alcanzan las ondas, y establece el volumen o nivel sonoro. Cuando se escucha música a muy alto volumen, la amplitud es tan alta que puede llegar a causar daños en el tímpano.

2.3.1 Reflexión del sonido

Cuando las ondas chocan contra un obstáculo, una parte de la energía es absorbida por el obstáculo y la otra parte es regresada en sentido contrario al camino que había realizado.

Hay diversos tipos de reflexión del sonido, destacando el eco y la resonancia:

- El eco se produce cuando la reflexión del sonido se realiza contra un obstáculo lejano; el sonido reflejado se aprecia cuando el sonido original deja de percibirse
- La resonancia tiene lugar cuando el obstáculo con el que choca el sonido no está lo suficientemente lejos y el sonido reflejado se confunde con el emitido

2.4 Cualidades del sonido

El sonido tiene cuatro cualidades: altura, intensidad, timbre, y duración.

Altura: permite distinguir la gravedad o elevación del sonido para distinguir entre un sonido grave y otro agudo.

Intensidad: es la fuerza con la que se produce un sonido. Depende de la amplitud de las vibraciones producidas por un cuerpo sonoro. La intensidad aumenta cuanto mayor es la fuerza con la que se emite un sonido. No se propaga siempre con la misma intensidad, ya que también depende de la distancia que recorre, por ejemplo, la intensidad no es la misma a 1m de donde se produce el sonido que a 4m.

Timbre: es lo que nos hace que distingamos entre el sonido producido por un determinado instrumento, o el producido por otro diferente.

Duración: indica el tiempo que un sonido permanece en nuestro oído. Depende de las vibraciones originadas por el sonido, y se obtendrán sonidos largos o cortos.

2.5 Contaminación por ruido

Sin embargo, hasta no hace muchos años el ruido era considerado, únicamente como un subproducto accidental de la actividad humana, que en ocasiones podía ser perjudicial o molesto. Se trataba como un mal menor, difícil de caracterizar; no es constante en el tiempo ni en el espacio, no mata, no degrada el medio de modo tan evidente como lo hacen otros tipos de contaminación, por ejemplo los vertidos de aguas residuales o los residuos sólidos. Fue en 1972 cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) catalogó el ruido como una forma más de contaminación. Actualmente es considerado uno de los contaminantes ambientales más molestos y que más inciden sobre el bienestar de los ciudadanos, pero sigue siendo la contaminación la menor y peor regulada de todas las existentes.

En las últimas décadas se ha percibido un cambio en las condiciones acústicas de las ciudades (incremento del parque vehicular, mecanización de las actividades, cambio de usos de la vía pública, etc), produciéndose un incremento en el nivel de ruido ambiental.

2.5.1 Características del ruido

El ruido presenta grandes diferencias con respecto a otros contaminantes:

- Es el contaminante más barato de producir, y necesita muy poca energía para ser emitido
- Es complejo de medir y cuantificar
- No deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en sus efectos en el hombre
- Tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes; vale decir que es localizado.
- No se traslada a través de los sistemas naturales, como el aire contaminado movido por el viento
- Se percibe sólo por un sentido: el oído, lo cual hace subestimar su efecto

2.5.2 Las fuentes de ruido ambiental

Todos los estados disponen de clasificaciones similares de las fuentes de ruido ambiental, relacionadas con las diversas actividades humanas: tráfico por carretera; tráfico ferroviario; tráfico aéreo; industria; ingeniería civil, actividades de construcción, actividades recreativas, etc. Estas clasificaciones difieren entre sí desde un punto de vista fenomenológico, y como la actitud de la población respecto al ruido varía en función del origen del mismo y se percibe de forma diferente.

Algunas de las fuentes, como el tráfico, las obras o la industria, se asocian al progreso tecnológico; mientras que otras se vinculan con tendencias sociales, como serían las zonas de concentración de ocio y las modas musicales. En ambos casos se da por supuesto que el ruido es un componente inherente al desarrollo; sin embargo, paradójicamente, cuanto más desarrollado está un país no por ello tiene que ser más ruidoso. No obstante, crece la desconfianza y se generaliza el pensamiento de que a pesar del desarrollo tecnológico y de la forma en que se incrementa en la sociedad actual el posicionamiento frente al ruido, existe el convencimiento de que el número de fuentes de ruido, y el número de lugares y personas afectadas crecerán en el futuro, si es que no se implementan con firmeza medidas a corto, medio y largo plazos que puedan detenerlo o ejercer un control.

2.5.3 La contaminación acústica generada por el tráfico vehicular

Los vehículos son las principales fuentes de ruido con mayor trascendencia en las urbes. Aproximadamente, el 80% del ruido que se genera en las ciudades, es responsabilidad del tránsito vehicular.

Esto se debe a que a partir de la década de los sesenta se ha producido un aumento exponencial de los medios de transporte y de su utilización, provocando un sensible incremento de los niveles de ruido de fondo en los ambientes exteriores, principalmente en los núcleos urbanos.

El ruido generado por el tráfico es una secuencia temporal de la suma de niveles sonoros variables emitidos por los vehículos que transitan. Proceden del motor y de las transmisiones y la fricción causada por el contacto del vehículo con el suelo y el aire. Todo ello aumenta el nivel sonoro con el incremento de la velocidad y el deterioro de su estado de conservación. Otras circunstancias relevantes en la generación de esta clase de ruido son el volumen y la categoría del vehículo, la cantidad de las unidades que circulan y las que lo hacen al mismo tiempo por un lugar determinado; el tipo de calzada, adoquines, concreto, asfalto, etc.

Las medidas correctoras para reducir los niveles de ruido originado por la circulación de automotores en la ciudad pueden plantearse, bajo diferentes aspectos. Unos son de carácter legal, que obligan a reducir los niveles de ruido de los vehículos, otros se materializan en el diseño de la vía y en los materiales que se utilizan; unas más son correctores, como las pantallas y los túneles que dificultan la transmisión de la onda sonora desde donde se produce hasta donde se recibe. Por otro lado, para evitar las reflexiones sonoras el método más eficaz es el de los revestimientos acústicamente absorbentes. El método más efectivo son los túneles, aunque resultan más caros; sin embargo, se debe tener mucho cuidado para evitar el efecto túnel, que consiste en la acumulación de ruidos en la salida.

Según la OCDE, hay un predominio de los ruidos provocados por los medios de transporte en relación con las demás fuentes de ruido y, en concreto, que dependiendo de cada país en particular entre el 15 y el 40% de la población está sometida a niveles de ruido superiores a 65 dB(A) procedentes del tráfico. En cuanto a ferrocarriles: el 1,7% de la población; y respecto al transporte aéreo, más del 1% de la población está expuesta a estos niveles elevados.

El tráfico aéreo es también una fuente de contaminación acústica que hay que tener en cuenta; aunque su incidencia sonora suele estar muy localizada en las

zonas limítrofes a los aeropuertos, y sólo muy indirectamente contribuiría a aumentar los niveles acústicos de la ciudad. Finalmente, influyen también las condiciones físicas de propagación sonora desde la vía hasta el receptor. Todas ellas constituyen factores que actúan de manera notable en los niveles de ruido ambiental como resultado del tráfico de los vehículos.

Los agentes de menor impacto son aquellos de ocurrencia esporádica como: gritos de niños que juegan en calles y parques; conciertos al aire libre; ferias y vendedores callejeros; sonidos de animales domésticos; fuegos artificiales, etc.

Todas las fuentes de ruido contribuyen en mayor o menor medida al "ambiente sonoro", que caracteriza nuestras ciudades. Y todas las personas están expuestas a los diferentes niveles de ruido.

2.5.4 Medición del ruido

El ruido, viene determinado en gran medida, por la percepción subjetiva de las personas, la que varía de un individuo a otro; a menudo en una sola persona cambia de acuerdo con su disposición en ese momento. Dada su naturaleza subjetiva, el ruido no puede medirse en unidades objetivas. Pero para poder clasificar y comparar los diferentes casos de ruido es necesario, por lo menos, obtener una descripción cuantitativa aproximada.

La unidad de medición física es la presión del sonido en Pascales (Pa). El sonido perceptible cubre un amplio intervalo de intensidades, desde 0.00002 Pa en el umbral auditivo, hasta 20 Pa en el umbral del dolor. La presión real del sonido se divide entre la del umbral auditivo, seguida de una transformación logarítmica. Esta unidad denominada, Bell (B), se divide en submúltiplos conocidos como decibeles (dB), que es la forma más común de describir el nivel de un sonido.

2.5.4.1 Formas de medición

El ruido producido por los vehículos en la carretera se mide en decibeles "A"; que es la unidad 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 se justifica totalmente para las medias y altas frecuencias.

Los ruidos generados por los automotores en operación son fluctuantes; por tanto, es necesario caracterizarlos de una manera simple para 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, El número entre

paréntesis que sigue al LAeq indica el periodo durante el cual el nivel de sonido equivalente ha sido medido. Su formula matemática es:

$$LA_{eq}(T) = 10 \text{ LOG } (1/T) \int_t (P/P_0)^2 dt$$

Donde:

L_{Aeq} media de la energía sonora ponderada

T tiempo de duración de la medición

P presión sonora instantánea, en Pascales

P_0 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 duraciones para la medición 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 emplean como indicadores de ruido, los de las series estadísticas (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 considerado

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

La tabla 2.1 muestra los niveles de presión acústica para diferentes eventos.

Tabla 2.1.
Nivel de presión acústica ponderado A (dB (A))

Nivel de presión sonora dB(A)	Ejemplos de sensación acústica	Nivel de presión sonora dB(A)	Ejemplos de sensación acústica
0	Umbral de audición a 1000 Hz	95-100	Nivel máximo durante el paso de un tren de mercancías a 100 km/h, a una distancia de 7.5m (motor diesel)
0-20	Sensación de silencio completo	85-100	Discoteca (interior, L_{eq})
25-30	Ligero movimiento de las hojas	95-100	Nivel máximo de un tren de pasajeros (interurbano, 200 km/h, 7.5m)
35-45	Zona urbana tranquila, entre 2 y 4 por la mañana	95-100	Nivel máximo de un tren de pasajeros (ICE, 250 km/h, 7.5m)
45-55	Conversación normal (interior)	105-110	Nivel máximo de un tren de alta velocidad (TGV, 300 km/h, 7.5m)
45-55	Automóvil ligero al ralentí a una distancia de 7.5m (motor de explosión)	110-115	Avión a reacción (> 100 t, despegue, 100 m)
60-80	Automóvil ligero a 50 km/h, a una distancia de 7.5m	105-120	Aviones militares en vuelo rasante
80-95	Vehículo pesado de mercancías a 50 km/h, a una distancia de 7.5m	> 120	Posibles daños auditivos, incluso en casos de exposición de corta duración
75-100	Motocicleta a 50 km/h, a una distancia de 7.5m		

Fuente: "Una evaluación Dobris" sobre el medio ambiente en Europa, Agencia Europea del Medio Ambiente.

Al igual que en la percepción subjetiva de los niveles sonoros de diferentes intensidades, un aumento en la presión acústica de un sonido puro estacionario de 10 (dB) tendrá como resultado una duplicación de la intensidad sonora.

2.5.4.2 Instrumentos de medición

Los índices más comúnmente usados para la evaluación del ruido generado por los vehículos que circulan en 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:

- Un micrófono. Es básicamente un sensor que puede medir pequeñas variaciones de la presión, usando como referencia la presión atmosférica
- Un amplificador. Es un dispositivo electrónico que permite elevar la potencia de unas señales electromagnéticas
- 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 1 dB, 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 tendrán que 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 capacidad de potencia de cuando menos 12 dB, mayor a la correspondiente a la lectura máxima del instrumento indicador

2.5.4.3 Tiempo e intervalos de medición

Los niveles de ruido debidos a la operación del transporte en las carreteras varían espacial y cronológicamente; por tanto, habrán de 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 el 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 cierto número de vehículos ligeros o pesados, y considerar los resultados obtenidos como la energía sonora característica de la carretera
- Medir durante largos períodos (más de 24 h)

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.

2.5.4.4 Puntos de medición

El número y situación de los puntos de medición necesarios para identificar el sonido medioambiental de una zona, depende de 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 zonas donde se construyen carreteras y éstas son transitadas; en tales casos, los puntos seleccionados deben representar las condiciones de exposición al ruido del mayor número posible de personas.

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

Las mediciones necesitan hacerse a 1,5 m sobre el nivel del eje de la carretera, y a 7,5 m del hombro o acotamiento, como se muestra en la figura 2.1

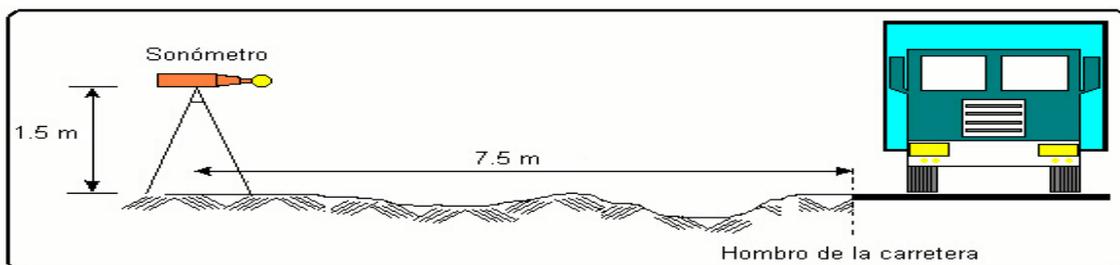


Figura 2.1.

Ubicación del sonómetro en el estudio de campo

2.6 Límites admisibles de ruido

El establecimiento 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 balanceando los aspectos económicos y técnicos, junto al umbral de molestia previamente examinado y fijado.

Para fijar límites del ruido, se requiere 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.
- Intervalo de tiempo de referencia. El período de referencia varía según los países; algunos utilizan un único período de 24 h, introduciendo correcciones en los niveles nocturnos. Otros 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 tres 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 65dB(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.
- 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 actuales; lo que depende de los niveles de ruido anteriores a la entrada en funcionamiento de la carretera.

2.7 Efectos en el ser humano

El ruido aparenta ser el más inofensivo de los agentes contaminantes, puesto que es percibido fundamentalmente a través de un solo sentido; el oído, y ocasionalmente, en presencia de grandes niveles de presión sonora, por el tacto (percepción de vibraciones); en cambio, el resto de los agentes contaminantes son captados por varios sentidos con similar nivel de molestia. Como si esto fuera

poco, la percepción y daños de estos contaminantes suele ser instantánea; a diferencia del ruido, cuyos efectos son mediatos y acumulativos.

2.7.1 Efectos auditivos

La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo significativo, da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles, convirtiéndose en sordera. A su vez, la exposición a niveles de ruido de mediana intensidad, pero con una prolongación mayor en el tiempo, repercute en forma similar, traduciéndose ambas situaciones en desplazamientos temporales o permanentes del umbral de audición. Los métodos de evaluación se realizan a través de análisis audiométricos y/u otoscópicos.

2.7.2 Interferencia en la comunicación oral

La inteligibilidad de la comunicación se reduce por el ruido de fondo. El oído es únicamente un transductor; no discrimina entre fuentes de ruido. La separación e identificación de las fuentes sonoras ocurre en el cerebro. La voz humana produce sonido en el rango 100 a 10 000 Hz; pero prácticamente toda la información verbal está contenida en la región de 200 a 6 000 Hz. La banda de frecuencia para la inteligibilidad de la palabra (entender palabra y frases) está contenida entre 500 y 2 500 Hz. Se cree que la interferencia en la comunicación oral durante las actividades laborales puede provocar accidentes causados por la incapacidad de oír llamadas de advertencia u otras indicaciones. Tanto en oficinas como en escuelas y hogares, la interferencia en la conversación constituye una fuente importante de molestias.

2.7.3 Efectos no auditivos

Además de las afecciones producidas por el ruido al oído, éste actúa negativamente sobre otras partes del organismo, donde se ha comprobado que bastan 50 a 60 dB(A) para que existan enfermedades asociadas al estímulo sonoro. En presencia de ruido, el organismo adopta una postura defensiva y hace uso de sus mecanismos de protección. Se han podido observar efectos vegetativos como la modificación del ritmo cardíaco, y vasoconstricciones del sistema periférico. Entre los 95 y 105 dB(A) se producen afecciones en el riego cerebral.

2.7.4 Efectos sobre el sueño

El ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño, y también despertar a quienes están ya dormidos. En numerosas oportunidades se ha escuchado la típica frase de que el sueño es la actividad que copa un tercio de nuestras vidas, y éste nos permite entre otras cosas descansar, ordenar, y proyectar nuestro consciente. Se ha comprobado que sonidos del orden de los 60 dB(A) reducen la profundidad del sueño.

2.7.5 Efectos sobre la conducta

La aparición súbita de un ruido, o la presencia de un agente sonoro molesto para el sujeto, pueden producir alteraciones en su conducta que, al menos momentáneamente, puede hacerse más abúlica, o más agresiva, o mostrar el sujeto un mayor grado de desinterés o irritabilidad.

2.7.6 Efectos en la atención

El ruido repercute sobre la atención, focalizándola hacia los aspectos más importantes de la tarea, en detrimento de aquellos otros aspectos considerados de menor relevancia.

2.7.7 Estrés

Parece probado que el ruido se integra como un elemento estresante fundamental. Y no sólo los ruidos de alta intensidad son los nocivos, sino incluso ruidos débiles.

2.7.8 Efectos en el embarazo

Se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde el principio en una zona muy ruidosa tienen niños que no sufren alteraciones, pero si se han instalado en estos lugares después de los cinco meses de gestación, después del parto los niños no soportan el ruido, lloran cada vez que lo sienten; y al nacer, su tamaño es inferior al normal.

2.7.9 Efectos sobre los niños

El ruido es un factor de riesgo para la salud de los niños, y repercute negativamente en su aprendizaje. Educados en un ambiente ruidoso se convierten en menos atentos a las señales acústicas, y sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura. Dificulta la comunicación verbal, favoreciendo el aislamiento y la poca sociabilidad. La

exposición al ruido afecta al sistema respiratorio; disminuye la actividad de los órganos digestivos, acelerando el metabolismo y el ritmo respiratorio; provoca trastornos del sueño; irritabilidad; fatiga psíquica, etc.

2.8 Normatividad en México

Las normas oficiales mexicanas para el Control del Emisión de Ruido en vigor son:

2.8.1 NOM-079-ECOL-1994

Establece los límites máximos permisibles de emisión de los vehículos automotores nuevos en planta, expresados en dB(A) y su método de medición conforme a su peso bruto.

Tabla 2.2.

Límites de ruido para vehículos nuevos en planta

Peso bruto vehicular (kg)	Limites máximos permisibles dB(A) Leq (total)
Hasta 3 000	79
Más de 3 000, y hasta 10 000	81
Más de 10 000	84

2.8.2 NOM-080-ECOL-1994

Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos al peso bruto vehicular, o al desplazamiento del motor en centímetros cúbicos.

Los límites máximos permisibles de los automóviles, camionetas y tractocamiones que son expresados de acuerdo a su peso bruto vehicular.

Tabla 2.3.

Niveles de ruido para automóviles, camionetas y tractocamiones

Peso bruto vehicular (kg)	Límites máximos permisibles dB(A) Leq (total)
Hasta 3 000	86
Más de 3 000, y hasta 10 000	92
Más de 10 000	99

Tabla 2.4.

Los límites máximos permisibles de motocicletas y triciclos motorizados, se expresan de acuerdo con la capacidad de desplazamiento del motor, medido en centímetros cúbicos

Desplazamiento del motor, en cm³	Límites máximos permisibles dB(A) Leq (total)
Hasta 449	96
De 450 en adelante	99

2.8.3 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 lleva a cabo una serie de trabajos previos para determinar las zonas críticas, donde se generan los mayores niveles de ruido. Posteriormente, en el marco de éstas se definen cinco 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 a 15 min, para la medición continua, o 25 lecturas para medición semicontinua, usando la ponderación A.

Tabla 2. 5.
Niveles de ruido de acuerdo con el horario

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

2.9 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 de transporte en las carreteras.

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

Las diferencias en las normas 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, se han considerado 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 fijados por organizaciones y países.

2.9.1 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 con el 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 h; si el nivel sonoro es mayor que el recomendado, el tiempo de exposición disminuirá en función del incremento.

En la tabla 2.6 se muestran los valores límites recomendados por la OMS, los cuales fueron respaldados por investigaciones realizadas por diversos países y organizaciones.

Tabla 2.6.
Límites recomendados por la OMS

Tipo de ambiente	Leq dB(A) Leq (total)
Laboral	75
Exterior diurno	55
Exterior nocturno	45
Doméstico, auditorio, aula	45
Dormitorio	35

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), teniendo en cuenta el nivel actual de conocimiento técnico 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 2.7.

Tabla 2.7.
Límites fijados por la OCDE a mediano plazo

Niveles aceptables propuesto por OCDE			
(Leq (total) límites en fachadas)			
Leq (día)		Leq (noche)	
Carretera nueva	Carretera existente	Carretera nueva	Carretera existente
60+/-5 dB(A)	60+/-5 dB(A)	50+/- dB(A)	50-60 dB(A)

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 2.8 se presentan estos límites.

Tabla 2.8.
Límites establecidos por la Comisión de la Unión Europea

Límites que aseguran una protección satisfactoria a las personas			
expuestas al ruido (según la CCE, DGXI)			
(Leq (total) 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)

2.9.2 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 L_{50} del período considerado.

En esta normatividad, el límite de ruido máximo permisible se asigna de acuerdo con la función de la zona que da 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 2.9 se presentan estos valores límites.

Tabla 2.9.
Limites de ruido establecidos en Japón

Clasificación del área	Período de tiempo		
	Día	Mañana, tarde	Noche
Zona A, cerca de carreteras de dos carriles	<55 dB(A)	<50 dB(A)	<45 dB(A)
Zona A, cerca de carreteras de tres o más carriles	<60 dB(A)	<55 dB(A)	<50 dB(A)
Zona B, cerca de carreteras de uno o dos carriles	<65 dB(A)	<60 dB(A)	<55 dB(A)
Zona B, cerca de carreteras de dos o más carriles	<65 dB(A)	<65 dB(A)	<60 dB(A)

2.9.3 Normatividad finlandesa

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

- Período diurno (7 – 22h)

- Período nocturno (22 – 7h)

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 conforme a la función que tiene, y con ella ciertos valores límites de emisión de ruido.

En la tabla 2.10 se pueden observar los valores límite en exteriores, y en la tabla 2.11 los valores límite en interiores.

Tabla 2.10.

Límites de ruido establecidos en Finlandia en exteriores

Área	Valores límite en día (7 – 22h)	Exteriores (Leq) noche (22 – 7h)
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 2.11.

Límites de ruido establecidos en Finlandia, en interiores

Función	Valores límite en día (7 – 22h)	Interiores (Leq) noche (22 – 7h)
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

2.9.4 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 – 22h)
- Período nocturno (22 – 6h)

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 2.12 se presentan estos valores.

Tabla 2.12.
Límites de ruido establecidos en Francia

Uso y naturaleza de los edificios	Día, Leq (6 – 22h)	Noche, Leq (22 – 6h)
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 sonora moderado	65 dB(A)	No definido

2.9.5 Normatividad de Estados Unidos de Norteamérica

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) estableció a principios de 1970 la Oficina para el Control del Ruido (ONAC), que funcionó hasta 1983; sin embargo, no promulgó un nivel de ruido estándar aceptable, aunque se convirtió en 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 acorde con la actividad que en ellas se realiza (tabla 2.13.).

Tabla 2.13.
Límites de ruido establecidos en Estados Unidos

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, parque, 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, escuelas, iglesias, bibliotecas, y hospitales	52 dB(A) (Exterior)	55 dB(A) (Exterior)

2.9.6 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 con su uso en siete 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 generado 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 otros países europeos; estos valores se presentan en la tabla 2.14.

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

- Período diurno (8 – 23 h)
- Período nocturno (23 – 8 h)

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

Tabla 2.14.

Límites de ruido establecidos en España

Zona	Valores límites día (8 - 23 h)	Leq Noche (23 - 8 h)
Zonas residenciales	65 dB(A)	55dB(A)
Zonas hospitalarias	55 dB(A)	45 dB(A)
Zonas comerciales e industriales	75 dB(A)	75 dB(A)

2.9.7 Normatividad chilena

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones ha emitido una norma de emisión de ruido para transportes de locomoción colectiva, urbana y rural:

- Que de acuerdo con lo preceptuado en la Ley 19.300, es deber del Estado dictar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente; a manera de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y periodos, un riesgo para la preservación de la naturaleza, la conservación del patrimonio ambiental, la salud de las personas, o la calidad de vida de la población.
- Que el Decreto Supremo N°122 de 1991, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, establece los niveles de ruido externos e internos que deben cumplir los vehículos de locomoción colectiva. Sin embargo,

determinadas regulaciones contenidas en dicho decreto requieren actualizarse y perfeccionarse, a fin de obtener un instrumento jurídico, eficaz y eficiente, que permita proteger adecuadamente a la comunidad de la creciente contaminación acústica proveniente de las unidades de locomoción colectiva.

La tabla 2.15 muestra estos valores.

Tabla 2.15.
Límites de ruido establecidos en Chile

Fuentes	Ensayo	Posición de medición	Niveles máximos de emisión dB(A) Leq (total)
Vehículos livianos	Estacionario	Escape	92
		Motor	95
		Interior	85
	Dinámico	Interior y exterior	79
Vehículos medianos y pesados	Estacionario	Escape	92
		Motor	95
		Interior	85
	Dinámico	Interior y exterior	81

2.9.8 Normatividad de Colombia

El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) continúa realizando estricto seguimiento y control al ruido, en establecimientos nocturnos y comerciales de la ciudad.

Los niveles permitidos por la autoridad ambiental en el manejo del sonido, según el sector de la ciudad se muestran en la tabla 2.16.

Tabla 2.16.

Límites de ruido establecidos en Colombia Leq (total)

Zona	Día dB(A)	Noche dB(A)
Residencial	65	45
Comercial	70	60
Industrial	75	75

Los anteriores límites están contemplados y amparados en la Ley 99 de 1993.

2.9.9 Normatividad Argentina

Los límites máximos permisibles de ruido y los valores límites de transmisión de vibraciones, emplean los parámetros indicados en la tabla 2.17 y 2.18.

Tabla 2.17.

Límites de ruido establecidos por Argentina Leq (total)

Área de sensibilidad acústica	Período diurno (15 h)	Período nocturno (9 h)
Tipo I (área de silencio)	60	50
Tipo II (área levemente ruidosa)	65	50
Tipo III (área tolerablemente ruidosa)	70	60
Tipo IV (área ruidosa)	75	70
Tipo V (área especialmente ruidosa)	80	75

Tabla 2.18.

Limites de ruido en determinadas áreas de Argentina

Área de sensibilidad acústica	Uso predominante del recinto	Período diurno (15 h)	Período nocturno (9 h)
Tipo VI (área de trabajo)	Sanitario	50	40
Tipo VI (área de trabajo)	Docente	50	50
Tipo VI (área de trabajo)	Cultural	50	50
Tipo VI (área de trabajo)	Oficinas	55	55
Tipo VI (área de trabajo)	Comercios	60	60
Tipo VI (área de trabajo)	Industria	60	60
Tipo VII (área de vivienda)	Zona habitacional	50-60*	40-50*
Tipo VII (área de vivienda)	Zona de servicios	55-65*	45-55*

De los ruidos provenientes de fuentes fijas transitorias. Toda fuente de ruidos molestos de carácter transitorio, originados por la actividad personal o de máquinas, instalaciones, vehículos, herramientas, artefactos de naturaleza industrial de servicio, para poder operar deben bloquear los ruidos que originan por medios idóneos y adecuados a sus características para que no trasciendan con carácter de molestos, siendo su nivel máximo permitido el que corresponde a un ámbito de percepción predominantemente industrial.

2.10 Indicadores

La OCDE define el término indicador como un "parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, con un significado más amplio que el directamente asociado a la configuración del parámetro".

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), añade que los indicadores "cuantifican y simplifican información sobre aspectos complejos que a menudo derivan de investigaciones técnicas, son dependientes de un propósito, y están abiertos a interpretación".

Un indicador es una información procesada generalmente de carácter cuantitativo, que genera una idea clara y accesible sobre un fenómeno complejo, su evolución, y sobre cuánto difiere de una situación deseada. Su valor trasciende la información misma, pues actúa como herramienta de apoyo para una mejor toma de decisiones en el diseño y evaluación de políticas públicas, y puede servir de guía para participación ciudadana a través de acciones concretas.

Es la observación cualitativa que permite identificar cambios en el tiempo y cuyo propósito es determinar qué tan bien está funcionando un sistema, dando la voz de alerta sobre la existencia de un problema y permitiendo tomar medidas para solucionarlo, una vez se tenga claridad sobre las causas que lo generaron.

Asimismo, cuando se conoce la meta a la cual se aspira, los indicadores permiten evaluar las acciones conducentes para alcanzarla; cuando se conoce un umbral para cierto factor ambiental, económico o social, un indicador es fundamental para señalar qué tan cerca o lejos se está de dicho valor. En otros casos, los indicadores suficientemente específicos permiten ver causas-efectos de diversos fenómenos. Finalmente, los indicadores pueden ser una guía en la construcción de algún escenario posible.

Son, por tanto, herramientas que proporcionan información sintética sobre una realidad compleja, como la que nos rodea. A lo largo de los años, con el fin de facilitar la interpretación de muchos fenómenos, se han ido desarrollando indicadores para múltiples disciplinas, por ejemplo, la economía, la sociología, el medio ambiente, etc.

Para que un indicador cumpla su objetivo de manera efectiva debe poseer, entre otras, las siguientes características:

- Relevante: debe ser importante o clave para los propósitos que se buscan
- Entendible: no debe dar lugar a ambigüedades o malas interpretaciones que puedan desvirtuar su análisis
- Basado en información confiable: la precisión del indicador debe ser suficiente para tomar la decisión adecuada
- Transparente / verificable: su cálculo debe estar adecuadamente soportado y ser documentado para su seguimiento y trazabilidad
- Basado en información específica con relación al lugar y el tiempo: debe ser asociado a hechos reales que faciliten su análisis.

2.10.1 Indicadores ambientales

Los indicadores ambientales son un tema de gran actualidad desde principios de la década pasada, ya que se han consumado como herramientas imprescindibles para la política y gestión medioambiental. Hoy en día, en la mayoría de los países industrializados, a consecuencia del grado de explotación que sufren los recursos naturales, se ha despertado una conciencia ecológica que no puede ser despreciada por los representantes políticos. La sociedad exige de éstos una respuesta eficaz frente a la degradación creciente del medio natural. En este contexto, los indicadores ambientales surgen con el fin de incorporar los criterios ambientales en la toma de decisiones, intentando dotarles de la misma categoría y valor que otros criterios, hasta ahora predominantes.

Los indicadores ambientales surgen a principio de los años noventa impulsados por la necesidad de una política de desarrollo sostenible, con el fin de proporcionar información de una forma concreta y sistemática sobre la situación ambiental de una región, y poder incorporar criterios ambientales en la toma de decisiones.

Algunos de los criterios que deben cumplir los indicadores ambientales son:

- **Validez científica.** Los indicadores deben estar basados en el conocimiento científico, siendo su significado claro e inequívoco
- **Disponibilidad y confiabilidad de los datos.** Los datos necesarios para el diseño de los indicadores deben ser accesibles y estar basados en estadísticas fiables
- **Representatividad.** Los indicadores deben estar fuertemente asociados a las propiedades que ellos mismos describen y argumentan
- **Sensibilidad a cambios.** El indicador debe responder a los cambios que se producen en el medio, reflejando las tendencias y posibilitando la predicción de situaciones futuras
- **Sencillez.** Los indicadores deben ser medibles y cuantificables con relativa facilidad. A su vez, tienen que ser claros, simples y específicos, facilitando su comprensión por no especialistas que vayan a hacer uso de los mismos
- **Relevancia y utilidad.** Los indicadores no sólo tienen que ser relevantes a nivel científico, sino también a nivel político, ya que deben ser útiles en la toma de decisiones
- **Facilidad de Comparación.** La información que aporten los indicadores debe permitir la comparación a distintas escalas territoriales y temporales

- **Razonable relación costo / beneficio.** El costo de obtención de información debe estar compensado con la utilidad de la información obtenida

2.10.2 Criterios para la selección de indicadores

Los indicadores deben cubrir al menos ciertas cualidades que les den confiabilidad y a la vez sean practicables. La conformación de un sistema como tal, implica un análisis de los indicadores de forma individual y conjunta, así como la evaluación de la información utilizada para alimentarlo. La OCDE señala los criterios a seguir, se muestran en la tabla 2.19.

Tabla 2.19.

Características deseables en un indicador y en sus datos

Criterio	Características deseables
Relevancia política	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar una visión representativa de las condiciones ambientales, presiones sobre el ambiente, o respuestas sociales - Sencillo, fácil de interpretar y capaz de mostrar tendencias sobre el tiempo - Responder ante los cambios del ambiente y actividades humanas relacionadas - Proveer una base para comparaciones internacionales - Tener un alcance nacional o ser aplicable a eventos ambientales regionales de importancia nacional <p>Tener un umbral o valor de referencia contra el cual hacer comparaciones, de modo que los usuarios puedan evaluar la trascendencia de los valores asociados a él</p>
Solidez analítica	<ul style="list-style-type: none"> - Tener un buen fundamento teórico en términos técnicos y científicos - Basarse en estándares internacionales y tener consenso internacional de su validez - Tender a formar enlaces con modelos económicos, de pronóstico y a sistemas de información
Criterio	Los datos utilizados en un indicador debería:
Mesurabilidad o capacidad de medición	<ul style="list-style-type: none"> - Estar disponibles, o ser de fácil obtención a un costo-beneficio razonable - Estar bien documentados y tener calidad - Ser actualizados a intervalos de tiempo regulares con base en procedimientos confiables

Fuente: Sistema de Indicadores Ambientales de Querétaro (SEDESU)

2.10.3 Generaciones de indicadores

Existe una tipología de los indicadores como una herramienta útil para sistematizar la experiencia mundial acumulada en el campo. En ella, se les clasifica como de primera, segunda y tercera generación, según el enfoque y alcances que han tenido de manera histórica.

a) Indicadores de sostenimiento ambiental de primera generación

Son los denominados indicadores ambientales o de sostenimiento ambiental, elaborados desde los 80's hasta el presente. Se trata de indicadores que analizan de forma parcial un fenómeno; es decir, desde el punto de vista de un sector, o bien desde un número reducido de dimensiones ambientales.

b) Indicadores de desarrollo sustentable de segunda generación

Son el resultado de la implementación del enfoque multidimensional del desarrollo sustentable; empezaron a elaborarse a partir de los 90's. Pretenden medir qué tanto se acerca un país a la sustentabilidad, mediante indicadores que evalúan aspectos ambientales, sociales, económicos e institucionales. Sin embargo, los indicadores continúan evaluando la realidad separada en sus partes, y no de forma interrelacionada o integral.

Ha habido intentos por hacer indicadores vinculantes a través de metodologías de agregación o conmensuralistas, ya sea de tipo índice o monetizada, pero han sido ampliamente cuestionados.

c) Indicadores de desarrollo sustentable de tercera generación

Se trata del desafío actual. Es decir, poder dar cuenta del desarrollo sustentable en forma efectiva, utilizando un número limitado de indicadores verdaderamente vinculante, que tengan incorporados, potenciándose sinérgicamente, dimensiones y sectores desde su origen.

2.10.4 Modelos o marcos conceptuales

El empleo de un marco conceptual es fundamental, pues sin él se tendría únicamente un conjunto de indicadores inconexos. Sin embargo, es necesario resaltar que cualquier marco de referencia será de una u otra forma incapaz de organizar y expresar la total complejidad de interrelaciones que implican el desarrollo sustentable.

A continuación se hace una breve descripción de algunos de los modelos más utilizados en el mundo, en sistemas de indicadores de escala nacional e internacional.

Presión - Estado - Respuesta (PER)

Este modelo fue inicialmente establecido por la OCDE, con la finalidad de estructurar su trabajo en materia de reportes y políticas ambientales. Existen tres categorías que constituyen los componentes básicos de este modelo (fig 2.2.).

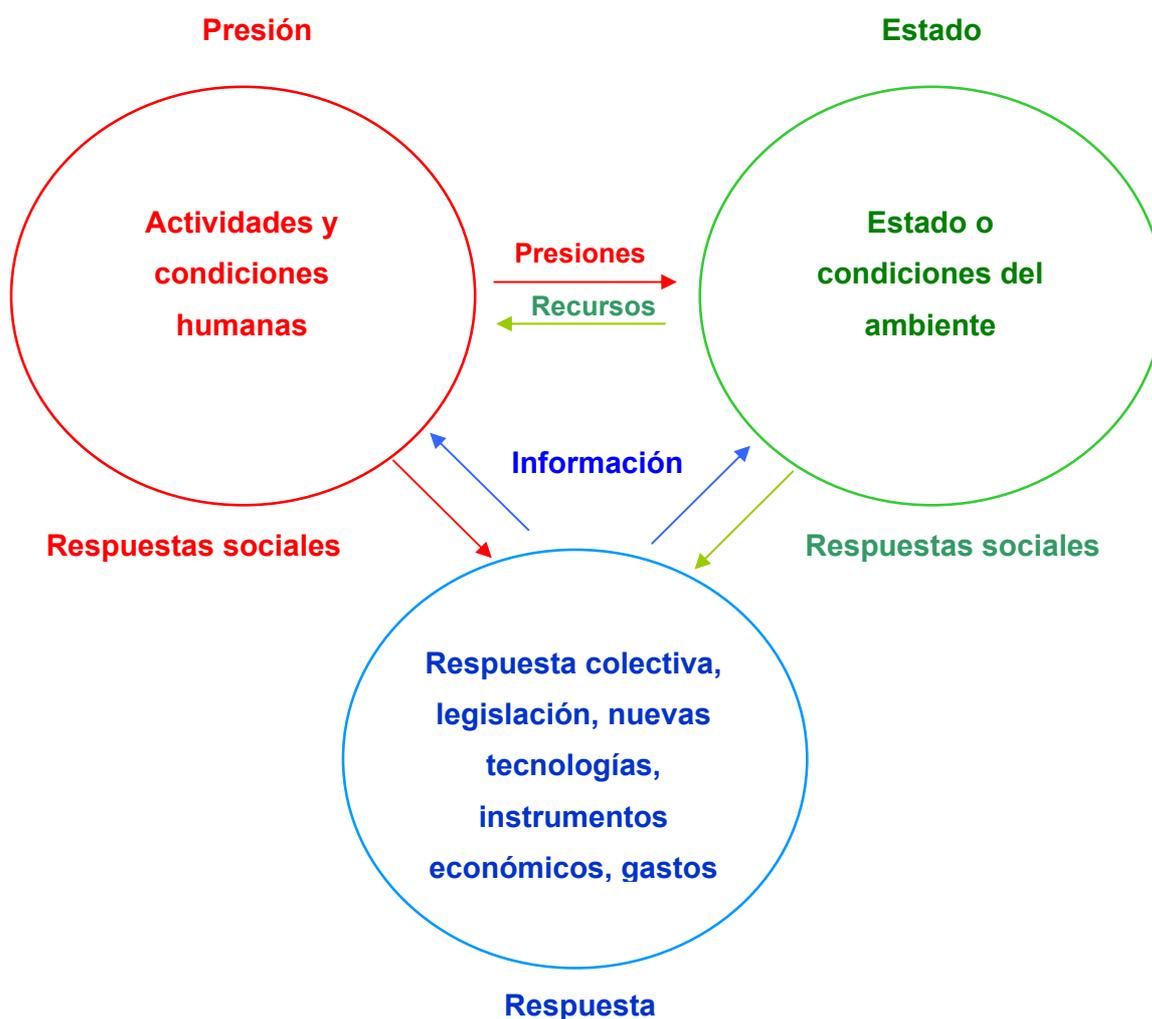


Figura 2.2.

Ejemplo de un indicador de Presión-Estado-Respuesta

La finalidad del modelo PER es acentuar las relaciones causa-efecto, sin considerar si tales relaciones tienen un carácter positivo o negativo. Además, los

indicadores no representan todas las relaciones implicadas, que suelen ser de una mucha mayor complejidad que la que puede reflejarse en éste o en cualquier otro sistema (OCDE 2003).

Fuerza motriz-Estado-Respuesta (FER), y Fuerza motriz-Estado-Respuesta-Impacto (FERI)

La Comisión para el Desarrollo Económico de las Naciones Unidas reemplaza el término “presión” del modelo PER por fuerza motriz (*driving force*), afirmando que de esta forma permite una mejor inclusión de variables no ambientales; es decir, económicas, sociales, e institucionales.

Por otra parte, en la modificación el modelo no asume causalidad entre los indicadores de cada categoría, como lo hacía el PER.

Fuerza motriz-Presión-Estado-Respuesta (FPEIR)

Este marco de análisis, basado en el marco PER, ha sido propuesto por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 1998), y es de gran utilidad en la descripción de los orígenes y consecuencias de los problemas ambientales.

Los indicadores se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Tipo A, o indicadores descriptivos
- Tipo B, o indicadores de ejecución
- Tipo C, o indicadores de eficiencia
- Tipo D, o indicadores bienestar

Los indicadores de impacto se usan para describir estos impactos sobre el ambiente. Los indicadores tipo A o descriptivos, reflejan la situación tal y como es, sin ninguna referencia a cómo debería ser. Los indicadores tipo B o de ejecución, comparan las condiciones actuales con un grupo específico de condiciones de referencia; es decir, miden la distancia entre la situación ambiental actual y la situación ambiental deseada, en términos de objetivos establecidos.

Los indicadores de eficiencia o tipo C, son los más importantes para los políticos, ya que relacionan las presiones del ambiente con las actividades humanas. Estos indicadores proporcionan una percepción de la eficiencia de los productos y los procesos. Eficiencia en términos de recursos usados, emisiones y gasto generado por unidad de producción deseada. La importancia de estos indicadores es que reflejan si la sociedad está avanzando en la calidad de sus productos y procesos.

Los indicadores de bienestar o tipo D, actualmente están fuera de las líneas de trabajo de la AEMA; aunque están empezando a ser investigados por otras organizaciones.

2.10.5 Áreas temáticas

Los indicadores pueden clasificarse en tres áreas temáticas diferentes:

Problemas ambientales. Los principales problemas ambientales son identificados, y sirven de marco para el desarrollo de la lista de indicadores; por ejemplo, destrucción de la capa de ozono, cambio climático, pérdida de suelo, pérdida de especies y ecosistemas, contaminación de las aguas, niveles de ruido, etc.

Sistemas ambientales. El medio ambiente se divide en distintos medios; por ejemplo, atmósfera, costas, aguas continentales, bosques, suelos, recursos naturales, etc.

Áreas sectoriales. Los diferentes sectores de explotación de los recursos naturales sirven de marco de análisis; por ejemplo, agricultura, transporte, minería, energía, etc.

2.10.6 Tipo y aplicación de indicadores ambientales

Los indicadores son de amplia utilización para la integración de resultados del examen de una situación en particular, y sirven para simplificar la presentación de la información, al tiempo que facilitan su interpretación y confrontación con información derivada

Los indicadores pueden ser simples o compuestos. Los primeros de ellos suelen estar representados por el valor mismo de una medición; en tanto que los segundos, generalmente se conforman por dos o más valores que pueden representar condiciones de calidad, o presencia de agentes contaminantes, medidas en términos de magnitud.

El empleo de indicadores ambientales ofrece ventajas por cuanto permite comparar la calidad ambiental de un parámetro, la calidad ambiental de un componente ambiental en función de uno o más agentes contaminantes, y la calidad ambiental de un proyecto en general.

2.10.7 Aplicación de los indicadores ambientales

A continuación se muestran las aplicaciones más importantes que se les puede dar.

Evaluación. Los indicadores ambientales son útiles como herramientas para evaluar la situación y las presiones a las que está sometido el medio ambiente. Permiten el desarrollo de medidas y prioridades, y la identificación de alternativas y aspectos críticos. Asimismo, sirven para evaluar los efectos de las medidas aplicadas por los gestores, y la evolución de la conciencia ambiental de la población.

Integración de aspectos ambientales en la toma de decisiones. La inquietud por el sostenimiento en el uso de los recursos naturales, que se ha puesto de manifiesto en el orden mundial. Los indicadores ambientales son una herramienta de gran utilidad para conseguir elevar los criterios ambientales, al mismo nivel que otros criterios en el campo de la toma de decisiones, aunque este sea un proceso muy lento, ya que requiere un gran esfuerzo político y social.

Divulgación. Los indicadores son útiles para difundir información medioambiental a la opinión pública, gestores y políticos.

Protección y mejora del medio ambiente. La información sintética que proporcionan los indicadores, es de gran utilidad para el manejo y conservación de los ecosistemas.

Seguimiento. Los indicadores sirven para informar sobre los cambios temporales, ya que son medidas repetibles y contrastables.

Predicción. Por su propia definición, un cambio en el estado de un indicador puede informar sobre el estado futuro del fenómeno al que se asocia. Esta es una de las aplicaciones más importantes para elaborar las estrategias de gestión, ya que predice el resultado de las mismas.

Comparación a nivel internacional. Si existen unos criterios básicos consensuados a nivel internacional, los indicadores pueden ser elementos de información comparables a escala global.

Herramientas para la ciencia. Los indicadores nacen a partir del conocimiento científico; y a través de la información que aportan, se pueden establecer nuevas líneas de investigación centrando los estudios en aquellos sectores que requieren una alta prioridad de intervención, debido a la influencia de los problemas ambientales.

3 Desarrollo del estudio de ruido

El estudio de campo se realizó con el propósito de determinar la magnitud de los niveles sonoros generados por la operación de transporte en las principales carreteras en Querétaro de Arteaga (en adelante sólo Querétaro), con la finalidad de verificar si realmente el ruido es un problema ambiental que perturba la tranquilidad y la calidad de vida de las personas, que habitan en la cercanía de dichas carreteras.

3.1 Aspectos geográficos en el estado de Querétaro

a) Territorio y población

Querétaro cuenta con 18 municipios, y su capital es Santiago de Querétaro; tiene una superficie territorial de 116 876 883 km², y una Población de 160 110 1 habitantes (tablas 3.1 y 3.2).

b) Vías de comunicación

La amplia cobertura de la red caminera del estado, permite una ágil comunicación entre la mayoría de sus localidades, así como son las ciudades de México, Guanajuato y San Luis Potosí, entre otras.

Carreteras. Los ejes federales que comunican el territorio Queretano son: la autopista México-Querétaro (No 57), la carrera federal No120, que proviene de Morelia, Michoacán; y el eje No 45 que entronca con la carretera No. 57 Esta infraestructura vial se fortalece con los caminos estatales y vecinales que se derivan de las rutas mencionadas.

Ferrocarriles. El sistema ferroviario de la entidad muestra gran importancia en la economía del país, pues por su territorio cruzan vías que comunican la zona fronteriza norte con el centro y la capital de la República, facilitando tanto la salida de productos como la entrada de materias primas.

Aeropuertos. El servicio de transporte se complementa con la terminal aérea intercontinental, establecida a 30 min de la capital.

Tabla 3.1.

Ubicación geográfica del estado de Querétaro

Coordenadas geográficas extremas	Al norte 21° 40´; al sur 20° 01´ de latitud norte; al este 99° 03´; al oeste 100° 36´ de longitud oeste (a)
Porcentaje territorial	El estado de Querétaro de Arteaga representa el 0.6 % de la superficie del país (b)
Colindancias	Querétaro de Arteaga colinda al norte con Guanajuato y San Luís Potosí; al este con San Luís Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo; al oeste con Guanajuato (a)
Capital	Santiago de Querétaro

Tabla 3.2.

Climas de estado de Querétaro

Tipo o subtipo	% de la superficie estatal
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	2,45
Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano	0,68
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	20,20
Templado húmedo con abundantes lluvias en verano	0,59
Templado subhúmedo con lluvias en verano	22,60
Semiseco muy cálido, y cálido	0,45
Semiseco semicálido	9,40
Semiseco templado	39,53
Seco semicálido	4,10

3.2 Ubicación de puntos representativos en función de las carreteras de Querétaro

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

Se retomaron los mismos puntos de medición del estudio piloto de ruido realizado en 2000, con el propósito elaborar una comparación con el 2005.

Los cinco puntos de medición se ubican en las principales carreteras de Querétaro, y se muestran en la fig 3.1.

Las carreteras fueron elegidas por su importancia económica, por presentar constante tránsito de vehículos de carga pesada, por su proyecto geométrico, y por su situación topográfica.

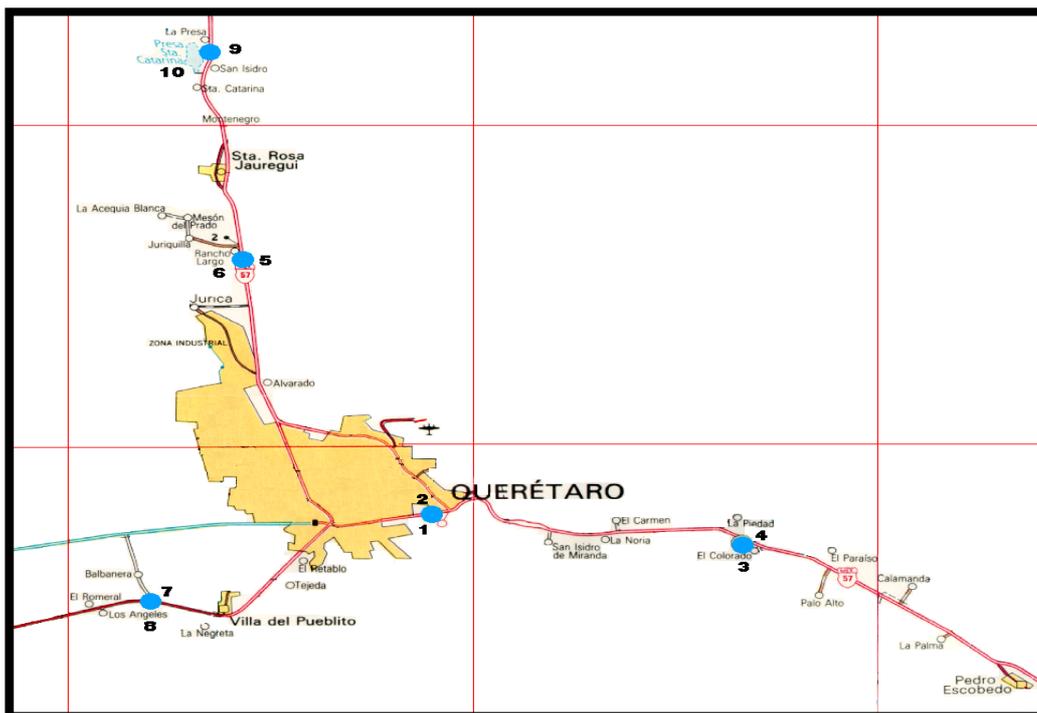


Figura 3.1

Mapa donde se señalan los cinco puntos estudiados en las principales carreteras próximas a la ciudad de Querétaro

3.3 Estudio en campo

Se tomaron lecturas cada 60 s para medir el ruido generado por la operación de transporte en las principales carreteras federales en la entidad, en un horario de las 09:00 am a las 15:00 pm, en un lapso de 6 h de duración, registrando los datos cada minuto.

3.3.1 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 en las carreteras
- Se desconocen las características acústicas del entorno de las carreteras, y la capacidad fonoaislante y fonoabsorbente de los materiales que la componen
- 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 (6 h)
- La medición del ruido puede considerarse como continua a lo largo del período de medición
- Las mediciones no se efectuaron bajo condiciones climáticas adversas como lluvia o viento, que pudieran afectar la confiabilidad de los resultados obtenidos
- El grado de precisión de las mediciones no puede determinarse 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

3.3.2 Instrumento de medición

Para determinar el ruido generado por los vehículos que circulan por las principales carreteras del estado de Querétaro, se utilizó un sonómetro de precisión marca Brüel & Kjaer modelo 2238, con un rango de medición de 20 a 100 dB(A), mostrado en la fig 3.2. El cual cumple con los requisitos especificados por la norma mexicana NMX-AA-059-1978 “Sonómetros de Precisión”.

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 con respecto al eje de la misma.



Figura 3.2.

Sonómetro de precisión marca Brüel & Kjaer,
modelo 2238 Mediator

3.3.3 Puntos de medición

Los puntos estudiados en el 2005 se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3.

Principales carreteras evaluadas en el 2005

Punto	Carreteras	Sentido
1	México – Querétaro, km 193 + 050	Querétaro
2	México – Querétaro, km 208 + 200	México
3	Querétaro – Celaya (libre), km 10 + 000	Querétaro
4	Querétaro – San Luis Potosí, km 12 + 800	San Luis Potosí
5	Querétaro – San Luis Potosí, km 26 + 200	San Luis Potosí

Los puntos estudiados en el 2000 se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4.

Principales carreteras evaluadas en el 2000

Punto	Carretera	Sentido
1	México – Querétaro, km 208+200	México
2	México – Querétaro, km 208+000	Querétaro
3	México – Querétaro, km 193+050	México
4	México – Querétaro, km 193+050	Querétaro
5	Querétaro – SLP, km 12+800	SLP
6	Querétaro – SLP, km 12+750	Querétaro
7	Querétaro – Celaya (libre), km 10+000	Celaya
8	Querétaro – Celaya (libre), km 10+000	Querétaro
9	Querétaro – SLP, km 26+200	SLP
10	Querétaro – SLP, km 26+100	Querétaro

3.3.4 Determinación del TDPA de las carreteras de Querétaro

En este punto se representa el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en las carreteras evaluadas. La información respectiva forma parte del documento denominado "Datos Viales", editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Servicios Técnicos, y se incluye en las tablas 3.5 y 3.6, para los años 2000 y 2005, respectivamente.

Tabla 3.5.

TDPA 2000

ESTACIONES DE ESTUDIO	TDPA		TDPA	CLASIFICACIÓN VEHICULAR*		
	IDA	REGRESO	(ambos sentidos de circulación)	A	B	C
Carretera México – Querétaro, km 208+200	18974	18744	37718	74%	9%	17%
Carretera México – Querétaro, km 193+050	16295	16030	32325	73%	9%	18%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	10394	10449	20843	75%	6%	19%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	7881	7835	15716	77%	5%	19%
Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (libre a Celaya)	5282	5282	10564	65%	6%	29%

Tabla 3.6.

TDPA 2005

ESTACIONES DE ESTUDIO	TDPA		TDPA	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		
	IDA	REGRESO	(ambos sentidos de circulación)	A	B	C
Carretera México – Querétaro, km 208+200	22521	22133	44654	69%	6%	25%
Carretera México – Querétaro, km 193+050	24253	24091	48344	66%	6%	29%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	16585	16217	32802	78%	6%	17%
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	13414	13547	26961	77%	6%	18%
Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (libre a Celaya)	8472	8332	16804	78%	5%	18%

En la tabla 3.6 se conjuntan los TDPA de 2000 y 2005, para compararlos. En ella se aprecia que el TDPA creció en todos los sitios, entre el 16% en el km 208 + 200 de la carretera México – Querétaro, hasta 42% en la carretera Querétaro – San Luis Potosí, km 26+ 200.

En lo que se refiere al tránsito pesado (tipo C), que es el que ocasiona mayor ruido, éste creció en 8 y 11% en los dos puntos de la carretera México – Querétaro; en tanto que decreció porcentualmente, aunque no en números absolutos en los otros tres sitios.

3.4 Sitios carreteros del estudio 2005

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.

3.4.1 Carretera México – Querétaro, km 193+050 (sentido Querétaro)

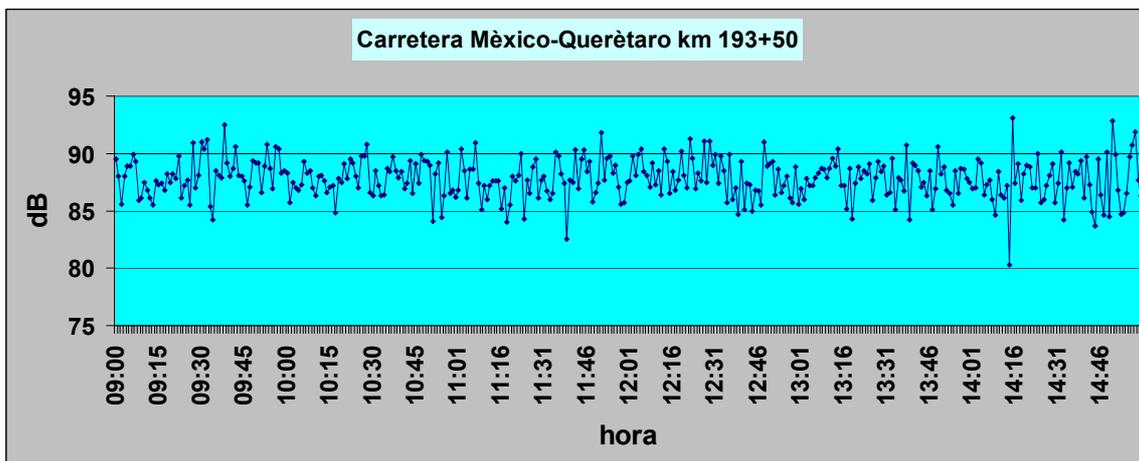
Este tramo de la carretera lo constituye una losa de concreto hidráulico, que se encuentra en buenas condiciones; se compone de tres carriles y camellón central.

El tramo tiene una pendiente de $-0,34\%$ rumbo a Querétaro.

La velocidad de proyecto de este tramo es de 110 km/h y el TDPA que se ha registrado es de 24 253 vehículos por sentido, con una composición vehicular de 65,50% de automóviles (A); 6,0% de autobuses (B); y 28,50% de camiones (C).

Grafica 3.1.

Distribución del ruido a lo largo del tiempo



A partir de la distribución del ruido generado por el transporte en la carretera a lo largo de tiempo (grafica 3.1), 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)= 88.2 dB(A)
- Nivel percentil L_{50} (total)= 87,8 dB(A)
- Nivel percentil L_{10} (total)= 89,4 dB(A)
- Nivel de presión sonora en la hora más ruidosa $Leq(h)$ = 87,9 dB(A)

3.4.2 Carretera México – Querétaro, km 208+200 (sentido México)

Esta carretera la configura una carpeta asfáltica, que se encuentra en buenas condiciones; se compone de tres carriles por sentido con un camellón central.

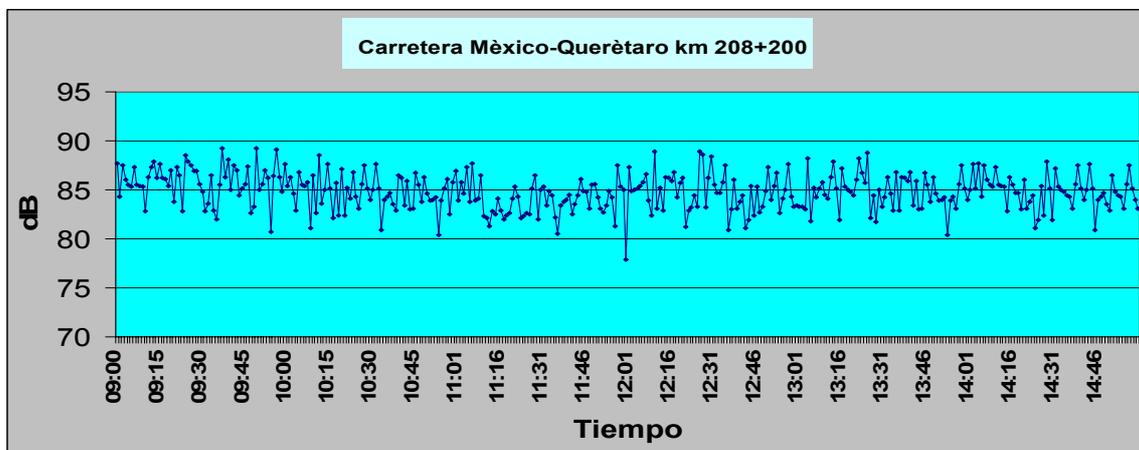
El tramo tiene una pendiente del $-1,3\%$, la cual se obtuvo mediante el uso de un GPS al igual que todas las pendientes.

La velocidad de proyecto en este tramo es de 110 km/h, y el TDPA que se ha registrado es de 22 133 vehículos por sentido, con una composición vehicular de 69% de automóviles (A); 6% de autobuses (B); y 25% de camiones (C).

Este punto de medición se encuentra muy cercano a zonas habitacionales, por lo que el ruido generado en esta carretera afecta directamente a las personas que ahí viven.

Grafica 3.2.

Distribución del ruido a lo largo del tiempo



A partir de la distribución del ruido generado por el transporte (grafica 3.2), 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)= 85,2 dB(A)
- Nivel percentil L_{50} (total)= 85 dB(A)

- Nivel percentil $L_{10}(\text{total}) = 86,1 \text{ dB(A)}$
- 49 el de presión sonora en la hora mas ruidosa $Leq(h) = 85,1 \text{ dB(A)}$

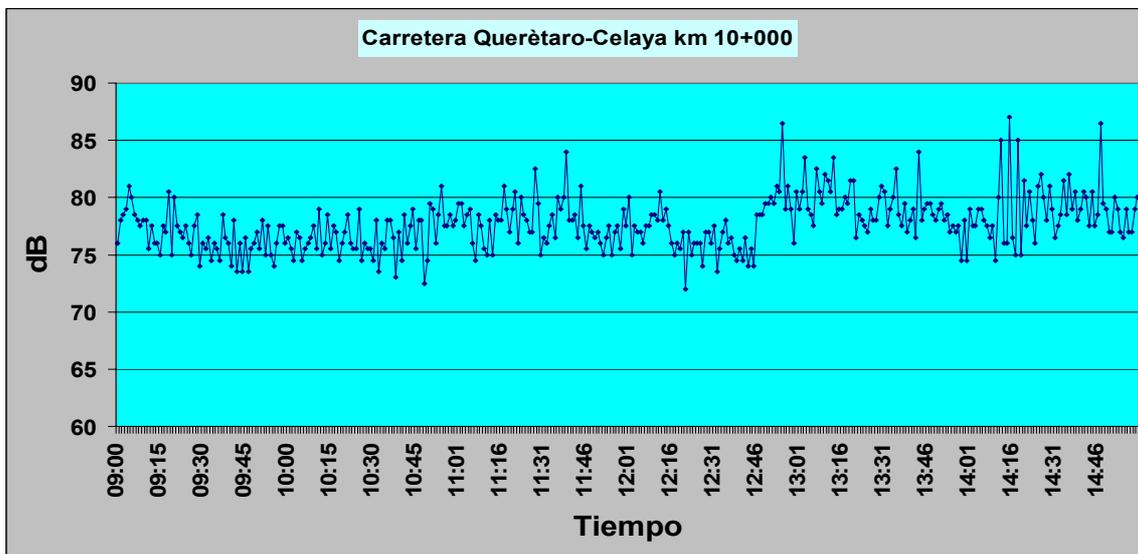
3.4.3 Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (sentido Querétaro)

Esta carretera la forma una carpeta asfáltica, que se encuentra en buenas condiciones; se compone de dos carriles con camellón central que separa los sentidos de circulación.

La velocidad de proyecto de este tramo es de 100 km/h, y el TDPA que se ha registrado es de 8 332 vehículos por sentido; con una composición vehicular de 78% de automóviles (A); 4,50% de autobuses (B); y 17,50% de camiones (C).

Grafica 3.3.

Distribución del ruido a lo largo del tiempo



A partir de la distribución del ruido generado por el transporte en la carretera a lo largo del tiempo (grafica 3.3), se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar el comportamiento sonoro de una carretera; estos índices se presentan a continuación:

- Nivel de presión sonora equivalente $Leq(\text{total}) = 78,4 \text{ dB(A)}$

- Nivel percentil $L_{50}(\text{total}) = 77 \text{ dB(A)}$
- Nivel percentil $L_{10}(\text{total}) = 81,6 \text{ dB(A)}$
- Nivel de presión sonora en la hora más ruidosa $Leq(h) = 79,6 \text{ dB(A)}$

3.4.4 Carretera Querétaro – San Luis Potosí, km 12+800 (sentido SLP)

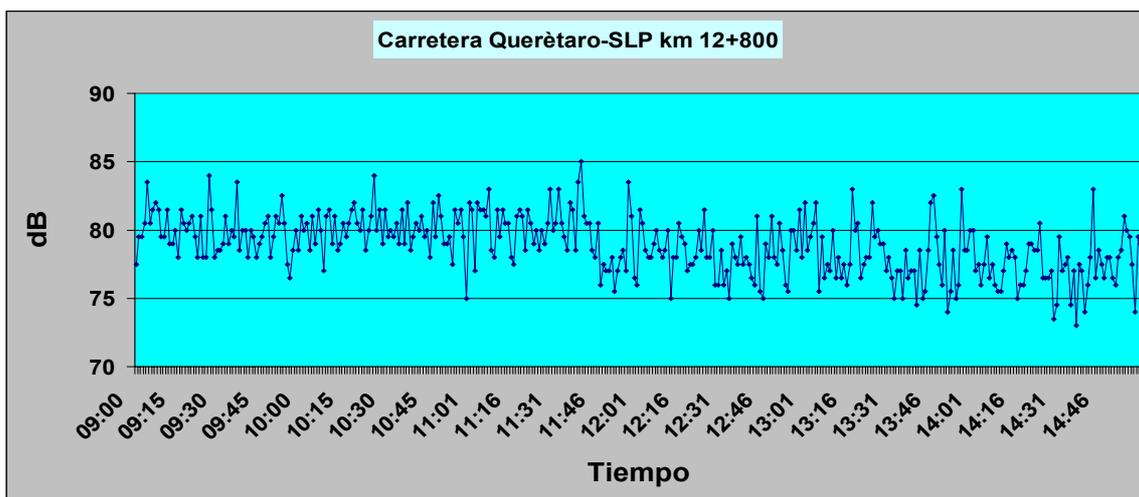
Este tramo de carretera consiste en una carpeta asfáltica que se encuentra en buenas condiciones; se compone de dos carriles por sentido, acotamiento en ambos lados, y un camellón central.

El tramo tiene una pendiente del +2,4%, rumbo a San Luis Potosí.

La velocidad de proyecto de este tramo es de 110 km/h, y el TDPA que se ha registrado es de 16 585.0 vehículos por sentido; con una composición vehicular de 78% de automóviles (A); 5,50% de autobuses (B); y 16,50% de camiones (C).

Grafica 3.4.

Distribución del ruido a lo largo de tiempo



A partir de la distribución del ruido generado por el del transporte en carretera a lo largo del tiempo (grafica 3.4), se obtienen ciertos índices que permiten caracterizar

el comportamiento sonoro de una carretera; dichos índices se presentan a continuación:

- Nivel de presión sonora equivalente Leq (total)= 79,4 dB(A)
- Nivel percentil L₅₀(total)= 79,5 dB(A)
- 51 vel percentil L₁₀(total)= 82,0 dB(A)
- Nivel de presión sonora en la hora mas ruidosa Leq(h)= 80,4 dB(A)

3.4.5 Carretera Querétaro – San Luis Potosí, km 26+200 (sentido SLP)

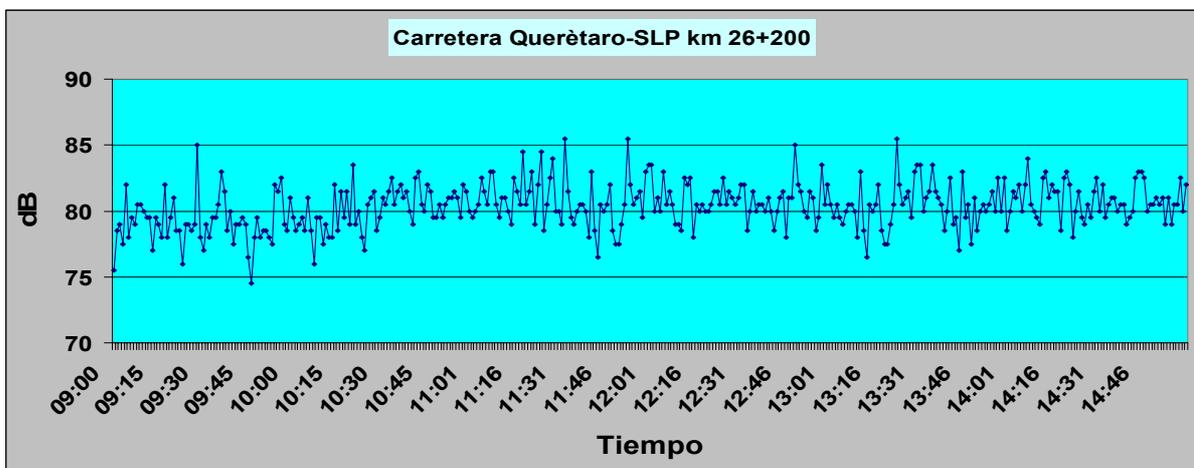
Esta carretera la configura una carpeta asfáltica, que se encuentra en buenas condiciones; se compone de dos carriles, acotamiento a ambos lados, y un camellón central.

El tramo tiene una pendiente del +4,43%, rumbo a San Luis Potosí.

La velocidad de proyecto de este tramo es de 110 km/h, y el TDPA que se ha registrado es de 13 414 vehículos por sentido; con una composición vehicular de 77% de automóviles (A); 5,50% de autobuses (B); y 17,50% de camiones (C).

Grafica 3.5.

Distribución del ruido a lo largo del tiempo



A partir de las mediciones del ruido generado por el transporte en carretera a lo largo del tiempo (grafica 3.5), 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)= 80,7 dB(A)
- Nivel percentil L_{50} (total)= 80 dB(A)
- Nivel percentil L_{10} (total)= 83 dB(A)
- Nivel de presión sonora en la hora mas ruidosa $Leq(h)$ = 80,9 dB(A)

3.5 Resumen de resultados del estudio 2000

En la tabla 3.7 se muestran los resultados de los estudios de ruido que se obtuvieron en el año 2000. y que servirán de referencia más adelante.

Tabla 3.7. Resumen de los puntos de medición del 2000

Punto	Carretera	Sentido	Pendiente	No. de Carriles	Tipo de Pavimento	Estado	Velocidad (Km/h)	TDPA	Composición vehicular			L _{min}	L _{máx}	Leq (Total)	L50 (Total)	Hora más ruidosa	Leq (hora más ruidosa)	L10 (hora más ruidosa)
									(A)	(B)	(C)							
1	México - Querétaro 208+200	México	-1.3%	3 + lateral	Asfalto	Bueno	110	18,744	74	9	17	72	84	77.3	77	12:58 a 1:58 pm	79	80.5
2	México - Querétaro 208+000	Querétaro	+1.3%	4 + lateral	Asfalto	Bueno	110	18,974	73	9	18	74.5	86.5	79.7	79	8:38 a 9:38 am	80.9	82
3	México - Querétaro 193+050	México	+0.34%	5 + lateral	Concreto Hidráulico	Bueno	110	16,030	74	9	17	77	85.5	81.1	80.5	10:28 a 11:28 am	81.8	83.2
4	México - Querétaro 193+050	Querétaro	-0.34%	6 + lateral	Concreto Hidráulico	Bueno	110	16,295	73	9	18	75	85	80.6	80.5	9:00 a 10:00 am	81.5	83
5	Querétaro - S.L.P. 12+800	S.L.P.	+2.4%	2	Asfalto	Bueno	110	10,394	75	6	19	73	83.5	78.3	77.75	10:46 a 11:46 am	79.3	81
6	Querétaro - S.L.P. 12+750	Querétaro	-2.4%	2	Asfalto	Bueno	110	10,449	75	6	19	73.5	82	78.6	78.5	8:30 a 9:30 am	79.6	80.6
7	Querétaro - Celaya 10+000	Celaya	+6.31%	2	Asfalto	Bueno	100	5,282	65	6	29	65.5	84.5	76.3	75.5	2:42 a 3:42 pm	77.4	79
8	Querétaro - Celaya 10+000	Querétaro	-6.31%	2	Asfalto	Bueno	100	5,282	65	6	29	62.5	83.5	75	73.5	10:54 a 11:54 am	76.5	77.8
9	Querétaro - S.L.P. 26+200	S.L.P.	+4.43%	2 + lateral	Asfalto	Bueno	110	7,881	81	3	16	69	83	76.2	76	9:42 a 10:42 am	77	79
10	Querétaro - S.L.P. 26+100	Querétaro	-4.43%	2 + lateral	Asfalto	Bueno	110	7,885	72	7	21	71.5	87	79	78.5	10:20 a 11:20 am	79.8	81.3

4 Procesamiento y análisis estadístico de datos

En este capítulo se procesan y analizan, empleando métodos estadísticos, los datos de ruido captados en el 2005, y se comparan y correlacionan con los del 2000.

En la tabla 4.1 se presentan los datos del ruido registrado en los cinco sitios, correspondientes a 2000 - 2005, así como sus diferencias y los promedios para cada Leq. En ella se aprecia que el ruido creció en cada uno de los sitios; el incremento más bajo fue de 0,2db, correspondiente al Leq(50), registrado en la carretera de Querétaro a San Luis Potosí, km 12+800; y el crecimiento más alto fue de 9,08db en la carretera de México a Querétaro, km 208+200.

Tabla 4.1.

Niveles de ruido registrados

ESTACIONES DE ESTUDIO	Leq (total)			Leq 50			Leq 10			Leq (h)			Promedio		
	2000	2005	Dif	2000	2005	Dif	2000	2005	Dif	2000	2005	Dif	2000	2005	Dif
México - Querétaro, km 208+200	77.3	85.2	7.9	79	85	6	77	86.08	9.08	80.5	85.08	4.58	78.45	85.34	6.89
México - Querétaro, km 193+050	80.6	88.2	7.6	81.5	87.75	6.25	80.5	89.36	8.86	83	87.91	4.91	81.40	88.31	6.91
Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	78.3	79.4	1.1	79.3	79.5	0.2	77.75	82	4.25	81	80.4	-0.6	79.09	80.33	1.24
Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	76.2	80.7	4.5	77	80	3	76	83	7	79	80.86	1.86	77.05	81.14	4.09
Querétaro - Celaya, km 10+000 (libre a Celaya)	75	78.4	3.4	76.5	77	0.5	73.5	81.55	8.05	77.8	79.6	1.8	75.70	79.14	3.44
Promedio	77.48	82.38	4.90	78.66	81.85	3.19	76.95	84.40	7.45	80.26	82.77	2.51	78.34	82.85	4.51
Desviación estándar	2.13	4.16	2.88	2.00	4.39	2.89	2.55	3.29	1.97	1.98	3.57	2.27	2.15	3.84	2.42
Variancia	4.56	17.34	8.29	4.00	19.30	8.37	6.51	10.82	3.86	3.94	12.77	5.16	4.64	14.76	5.86

En la tabla 4.1 se aprecia también que en la carretera México-Querétaro se registró el ruido más alto, tanto en el km 193+050, donde el pavimento es de concreto hidráulico, con un Leq promedio de 88,31db y un máximo de Leq(10)=89,36db; como en el km 208+200, donde el pavimento es de asfalto, con promedio de 85,34db y un máximo de Leq(10)=86,08db. Además se observa que las Leq(10) son las que tuvieron los mayores crecimientos del 2000 al 2005 en los

cinco puntos, con un incremento promedio de 7,45db, para dar un promedio global de 84,40db y un incremento de 1,49db por año.

Asimismo, el menor crecimiento global promedio en las cinco estaciones, del año 2000 al 2005, fue $82,77-80,26=2,51\text{db}$ en $\text{Leq}(h)$, lo cual da un incremento de 0,5db por año; es decir, en promedio el ruido, ya de por sí excesivo en el 2000, creció entre 2,51 y 7,45db en cinco años, y 0,9db por año, en promedio global.

Por otra parte, en los dos puntos de la carretera México-Querétaro subió el promedio de los cuatro Leq en 6,89 y 6,91db; es decir, 1.37db por año, con un máximo de 1,77db anual en $\text{Leq}(10)$; el mayor incremento fue de 9,08db en $\text{Leq}(10)$, o sea, 1,82db por año. La que menos incremento tuvo es la de Querétaro a San Luis Potosí, km 12+800, que en promedio creció 1,24db con un máximo de 4,25db en $\text{Leq}10$, y una reducción en $\text{Leq}(h)$ de -0,6db que probablemente se debió al azar y no a un decremento real permanente.

En la fig 4.1 se presentan las rectas de regresión de los distintos Leq para el 2005 versus los del 2000. En ellas se nota la tendencia creciente de todos los tipos de Leq , con coeficientes de correlación, R, que van de 0,77 para $\text{Leq}(\text{total})$, a 0,85 para $\text{Leq}(50)$; lo cual también hace prever que el nivel de ruido irá en ascenso si no se toman algunas acciones normativas y correctivas para aminorarlo.

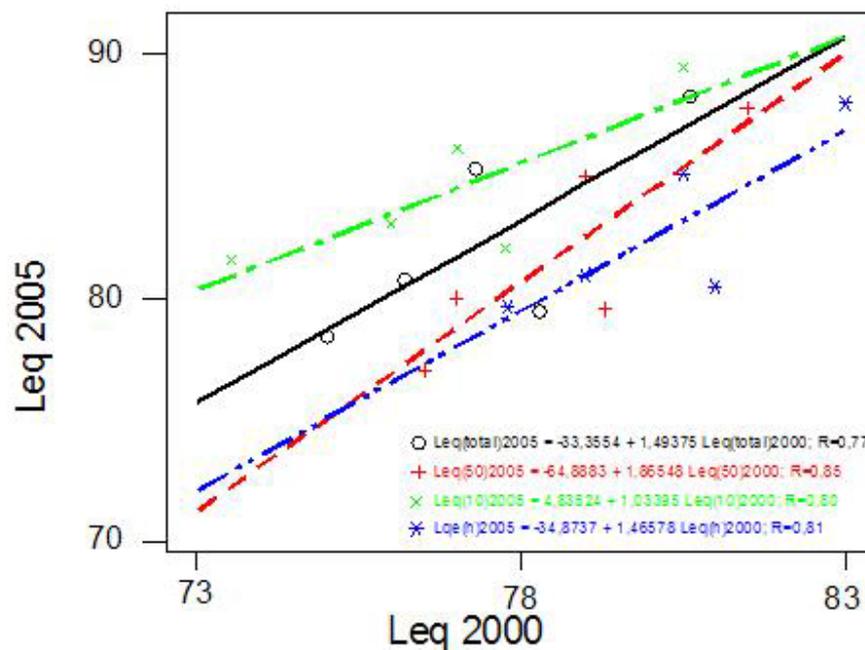


Figura 4.1.

Relación de los niveles de ruido registrados en los años 2005 y 2000

En la tabla 4.2 se presentan los valores del TDPA totales correspondientes a los años 2000 y 2005, así como sus diferencias y los TDPA de vehículos pesados, con sus respectivas diferencias.

Tabla 4.2.
Comparación de los TDPA

ESTACIONES DE ESTUDIO	TDPA			Vehículos pesados		
	2000	2005	Dif.	2000	2005	Dif.
Carretera México – Querétaro, km 208+200	37 718	44 654	6 936 (16 %)	6 412 (17 %)	11 164 (25 %)	4 751 (8 %)
Carretera México – Querétaro, km 193+050	32 325	48 344	16 019 (33 %)	5 819 (18 %)	14 020 (29 %)	8 201 (11 %)
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 12+800	20 843	32 802	11 959 (36 %)	3 960 (19 %)	5 576 (17 %)	1 616 (-2 %)
Carretera Querétaro - San Luis Potosí, km 26+200	15 716	26 961	11 245 (42 %)	2 986 (19 %)	4 853 (18 %)	1 867 (-1 %)
Carretera Querétaro – Celaya, km 10+000 (libre a Celaya)	10 564	16 804	6 240 (37 %)	3 064 (29 %)	3 025 (18 %)	- 39 (-11 %)

En dicha tabla se observa que el TDPA total creció entre 16 y 42%; en tanto que el TDPA pesado lo hizo con 8 y 11% en los dos tramos de la carretera México-Querétaro, pero decreció porcentualmente en los otros tres sitios; aunque no así en valores absolutos, excepto en el de Querétaro-Celaya en que disminuyó en 39 vehículos pesados.

En la fig 4.2 se muestran las gráficas de regresión lineal de las Leq versus el tránsito diario promedio anual (TDPA) total de 2005; en ella se aprecia que los coeficientes de correlación, R, son bastante altos; y van de 0,89 para Leq(10), a 0,96 para Leq(50), por lo que con las rectas de regresión se puede estimar el crecimiento del ruido que se tendrá en corto plazo al aumentar el TDPA con el tiempo, en cada sitio de registro.

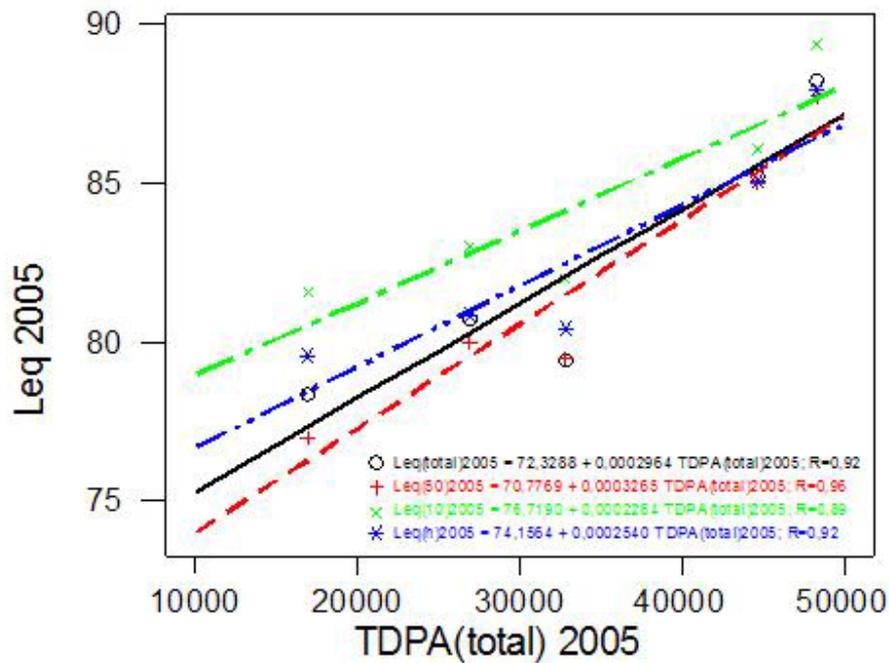


Figura 4.2.

Relación de los niveles de ruido versus el TDPA total en el año 2005

Las ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación son:

Leq (total) = 72,32+0,000296 TDPA (total); R=0,92 (1)

Leq (50) = 70,77+0,000326 TDPA (total); R=0,96 (2)

Leq (10) = 76,72+0,000226 TDPA (total); R=0,89 (3)

Leq (h) = 74,15+0,000254 TDPA (total); R=0,92 (4)

Con ellas se infiere que en promedio el ruido crecerá 2,964, 3,265, 2,264 y 2,540db (son las pendientes de las rectas) por cada 10000 vehículos que se incremente el TDPA total, para los casos Leq(total); Leq(50); Leq(10); y Leq(h), respectivamente.

Por otra parte, en la figura 4.3 se incluyen las rectas de regresión lineal que relacionan cada Leq del 2005 con el TDPA de tránsito pesado solamente, TDPA(pesado). Comparando esta figura con la 4.2 se aprecia un mejor ajuste; de hecho, los coeficientes de correlación aumentaron en los cuatro casos, variando

de 0,972 en Leq(10) a 0,993 en Leq(50). También se destaca que las rectas de Leq(total), Leq(50) y Leq(h) se parecen bastante; y que la de Leq(10) da valores mayores, pero con una pendiente menor, acercándose a las otras conforme crece el TDPA (pesado).

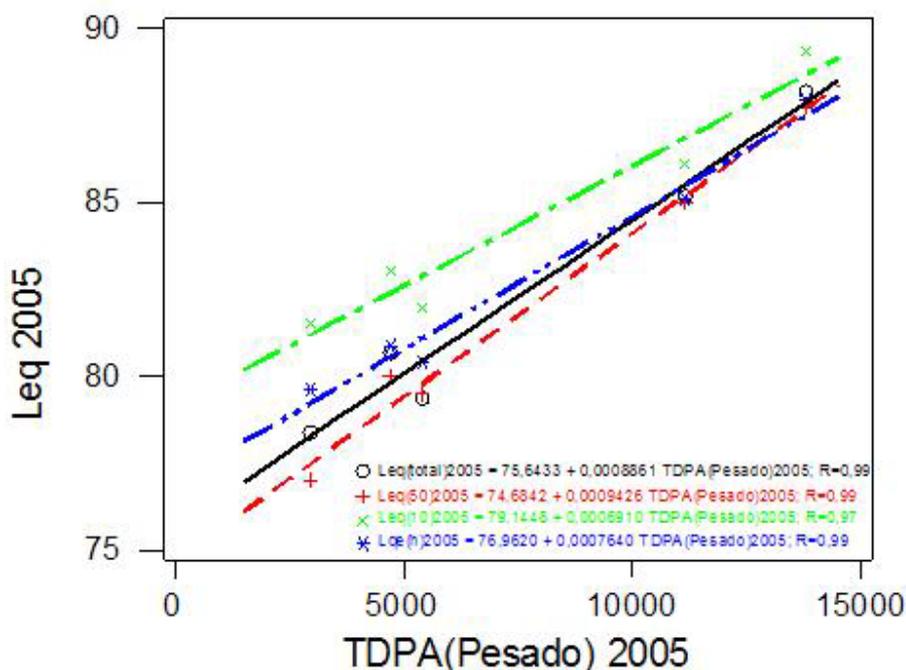


Figura 4.3.

Relación de los niveles de ruido versus el TDPA de tránsito pesado en el año 2005

Las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación son:

$$\text{Leq (total)} = 75,64 + 0,000886 \text{ TDPA (pesado)}; \quad R=0,99 \quad (5)$$

$$\text{Leq (50)} = 74,68 + 0,000942 \text{ TDPA (pesado)}; \quad R=0,99 \quad (6)$$

$$\text{Leq (10)} = 79,14 + 0,000691 \text{ TDPA (pesado)}; \quad R=0,97 \quad (7)$$

$$\text{Leq (h)} = 76,96 + 0,000764 \text{ TDPA (pesado)}; \quad R=0,99 \quad (8)$$

En este caso, los niveles de ruido crecen 0,69; 0,76; 0,88 y 0,94db en los parámetros Leq(10), Leq(h), Leq(total) y Leq(50), respectivamente, por cada incremento de 1,000 vehículos pesados que transiten en el futuro. Por ejemplo, para la carretera México – Querétaro, km 193+050, el incremento del TDPA pesado fue de 8,201 vehículos, con lo cual las predicciones de crecimiento para los cuatro indicadores serían 5,66; 6,23; 7,22; y 7,71db, lo cual da un promedio de 6,71db; en tanto que los crecimientos observados fueron 8,86; 4,91; 7,60 y 6,25db,

los cuales dan un promedio de 6,91db, muy semejante al promedio 6,71db de los valores predichos.

Además, en la fig 4.3, al comparar entre sí las cuatro rectas de regresión de los parámetros, Leq(total), Leq(50), Leq(10) y Leq(h), se aprecia que el Leq(10) es en general un poco mayor; y los otros son bastante parecidos entre sí en cada año, ya que en el 2000 la diferencia promedio de los primeros tres varió en 2,78db, al pasar de 77,48 a 80,26db (el promedio global fue 78,34db); en tanto que en el 2005 el promedio global fue 82,85db y el rango resultó de 0,92db, al asumir valores de 81,85 a 82,77db. Esto resultó diferente a los niveles de ruido del año 2000, en que los Leq(10) tuvieron los valores más pequeños, como se ve en la fig 4.4. En la cual se aprecia también que las tasas de crecimiento de Leq(total) y Leq(50), dadas por las pendientes de sus rectas, son 0,0008803 y 0,0009638, mismas que son muy parecidas a los obtenidos con los datos del 2005 (ecuaciones 5 a 8) de 0,0008861 y 0,0009426, respectivamente.

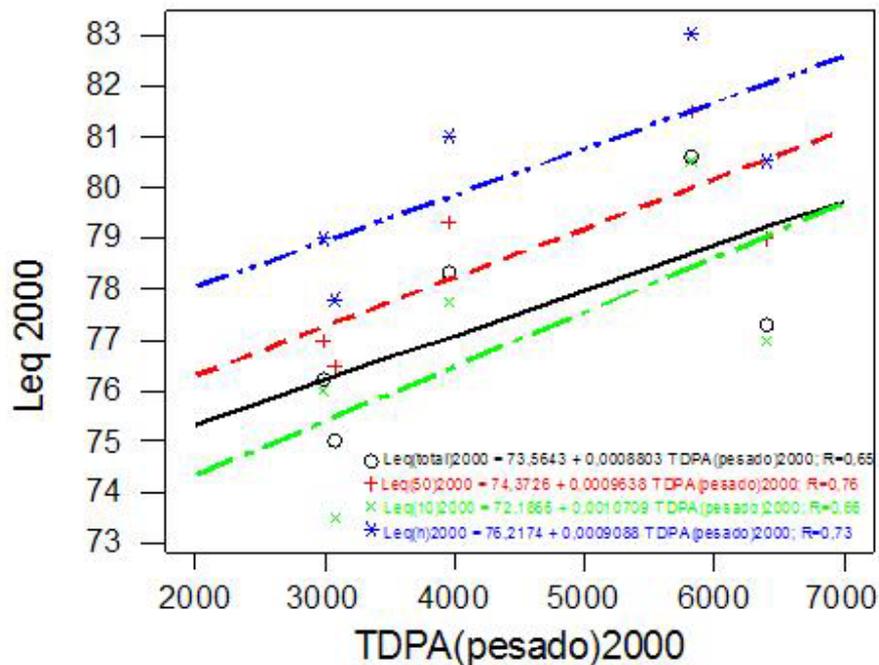


Figura 4.4.

Relación de los niveles de ruido versus el TDPA de tránsito pesado en el año 2000

En relación con el material de la carpeta del pavimento, al comparar el ruido en los dos puntos de medición de la carretera México-Querétaro, la magnitud del ruido en el sitio de concreto hidráulico (km 193+050) fue mayor, tanto en el año 2000 como en el 2005.

La diferencia promedio del ruido en el 2000 fue $81,40-78,45=2,95\text{db}$, en tanto que en el 2005 resultó de $88,31-85,34=2,97\text{db}$; es decir, casi iguales las dos. Sin embargo, en el 2000 el TDPA (pesado) fue mayor en el km 208+200, de 6412, versus 5819 vehículos en el 193+050, con una diferencia entre ellos de 593, que multiplicado por la tasa promedio de crecimiento del ruido de 0.0008209 da 0,49db. Es decir, que por motivo del TDPA debió ser 0,49db mayor el ruido en el km 208+200 que en el 193+050; por lo cual, al haber sido mayor en el km 193+050, la explicación del motivo es que la carpeta de concreto hidráulico es más ruidosa que la de asfalto, con diferencia de $2,95+0,49=3,44\text{db}$ en el 2000.

Por otra parte, en el 2005 esta conclusión se confirmó, pero con una diferencia menor. Esto se deduce al considerar que en el 2005 el TDPA (pesado) de 14 020 vehículos fue mayor en el km 193+050 que en el 208+200, de 11 164 vehículos; la diferencia de 2 856 multiplicada por la tasa promedio de crecimiento del ruido (0,0008209) da el incremento explicable por el TDPA pesado que es de 2,34db; al comparar esta cantidad con la diferencia promedio real de $88,31-85,34=2,97\text{db}$ en favor de la de concreto hidráulico, hace concluir que en el año 2005 la diferencia explicable por el tipo de carpeta es de $2,97-2,34=0,63\text{db}$ mayor en la de concreto hidráulico.

Como conclusión de estos análisis, se tiene que en la carpeta de concreto hidráulico el ruido registrado en los años 2000 y 2005 fue mayor que en la de asfalto, con diferencias de 3,44db en el 2000 y de 0,63db en el 2005. Esta reducción de la diferencia, quizá se deba a que la superficie de rodamiento del asfalto se ha deteriorado más que la de concreto, lo cual ha conducido a un ruido algo mayor.

Por todo lo anterior, la recomendación que surge de esta investigación es que, dado que en todos los casos el nivel de ruido excede las normas internacionales al respecto, y a que éste se va incrementando con el tiempo, y con el TDPA tanto total como pesado, que a su vez también es creciente, se reitera la necesidad de crear y expedir una norma para lograr que el ruido se mantenga en niveles aceptables internacionalmente en las carreteras mexicanas. La propuesta de norma que ha hecho el IMT para esto (ref 12), es limitar inicialmente el Leq (total) a 75db, con una reducción paulatina de 1db cada año, durante diez años, para llegar a los 65db que propone la OCDE para horario diurno en tramos que cruzan zonas habitacionales.

5 Conclusiones

El problema de ruido ambiental generado por la operación de transporte en las carreteras en Querétaro provoca molestias, perturba la tranquilidad y reduce la calidad de vida de las personas. Esta es una de las razones importantes por las cuales se realizó esta investigación sobre el ruido en Querétaro.

Se llevaron a cabo trabajos de campo en las principales carreteras de Querétaro, con el fin de obtener datos cuantitativos para evaluar y clasificar los niveles de ruido a los que están expuestas las personas; principalmente, las que habitan en torno a las principales carreteras, así como algunas poblaciones aledañas a éstas, y conocer su evolución del año 2000 al 2005.

El resumen de las conclusiones que resultaron del análisis estadístico de los datos de ruido, es:

1. El ruido, ya de por sí intenso, creció en todos los sitios carreteros, del año 2000 al 2005, con tasas variables de un sitio a otro, llegando a alcanzar 88,31db, con un incremento promedio de los cuatro indicadores, Leq, de 1,37db por año, en la carretera México – Querétaro, km 193+050, en la que se observó el mayor crecimiento total de 9,08db en Leq 10 en los cinco años.
2. Se encontró buena correlación positiva entre los valores de las cuatro Leq del año 2005 con los del 2000, lo cual confirma que el ruido aumenta con el tiempo. Estos incrementos, al igual que los de la conclusión anterior, se explican principalmente por los crecimientos significativos que tuvieron los TDPA en las carreteras, según se señala enseguida en las conclusiones 3 y 4.
3. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA total, lo cual pronostica un crecimiento de los niveles de ruido que va de 2,540 a 3,265db por cada incremento de 10 000 vehículos en el TDPA, que ocurra a lo largo del tiempo.
4. Se encontró buena correlación positiva entre los cuatro indicadores Leq y el TDPA de tránsito pesado solamente, lo cual pronostica un crecimiento de los niveles de ruido que va de 0,69 a 0,94db por cada incremento de mil vehículos pesados en el TDPA (pesado), que suceda a lo largo del tiempo.
5. El ruido registrado en los dos años fue mayor en el sitio en el que la carpeta del pavimento es de concreto hidráulico (carretera México-Querétaro, km193+050), que en los tramos de asfalto. En particular, al comparar este sitio con el de asfalto, km 208+200, de la misma carretera, el diferencial de ruido explicable por el concepto del material de la carpeta resultó superior en el 193+050, con diferencias de 0,64 a 3,44db.

Por todo lo anterior, la **recomendación** que surge de esta investigación es que, dado que en todos los casos el nivel de ruido excede las normas internacionales al respecto, y a que éste se incrementa con el tiempo y con el TDPA, tanto total como pesado, que a su vez también es creciente, se reitera la necesidad de crear y expedir una norma para lograr que el ruido se mantenga en niveles aceptables internacionalmente en las carreteras mexicanas. La propuesta de norma que ha hecho el IMT para esto (ref 12), es de limitar inicialmente el Leq (total) a 75db, con una reducción paulatina de 1db cada año, durante diez años, para llegar a los 65db que propone la OCDE para horario diurno en tramos que cruzan zonas habitacionales.

6 Referencias

- 1 Berglund, B, Lindvall, T; **Community Noise**, Archives of the Center for Sensory Research, Vol 2, Issue 1,. Stockholm University and Karolinska Institute. (1995)
- 2 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso I, Querétaro**; Publicación Técnica No 154; (2001)
- 3 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso II, Jalisco**; Publicación Técnica No 187, (2001)
- 4 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso III, Nuevo León**; Publicación Técnica No 193, (2002)
- 5 Instituto Mexicano del Transporte; **Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso IV, Veracruz**; Publicación Técnica No 194, (2002)
- 6 International Organization for Standarization; **Acustics-measurement of Noise Emitted by Stationary Road Vehicles- Survey Metod**; Draft International Standard ISO/DIS 5130, (1977)
- 7 Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras; **Reducción del ruido en el entorno de las carreteras**; OCDE; Francia, (1995)
- 8 Organización Panamericana de la salud; **Criterios de salud ambiental 12: El ruido**; Organización Mundial de la Salud, México, (1983)
- 9 Peterson, Alan; **ContraFlow**; Revista World Highways, Vol 9, Reino Unido, (Ene/Feb 2000)
- 10 Ruza, Felipe; **El ruido del tráfico: evaluación y corrección de su impacto**; Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC; España (1988)
- 11 Secretaria de Desarrollo Social; **Norma Oficial Mexicana NOM-080-ECOL-1994**, (1994)
- 12 Instituto Mexicano del Transporte; **Propuesta de normatividad mexicana para regular el ruido que genera la operación del transporte carretero**; Documento Técnico No 30 (2003)

Anexos

Tabla A1.1.

Lecturas de ruido obtenidas en la carretera México-Querétaro, km 193+050

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
09:00	89.5	09:46	85.5	10:32	87.2	11:19	85.5
09:01	88	09:47	87.1	10:33	86.3	11:20	88
09:02	85.6	09:48	89.4	10:34	86.4	11:21	87.6
09:03	88	09:49	89.2	10:35	88.7	11:22	88.1
09:04	88.9	09:50	89.2	10:36	88.4	11:23	90
09:05	88.9	09:51	86.6	10:37	89.7	11:24	84.3
09:06	89.9	09:52	88.9	10:38	88.5	11:25	87.7
09:07	89.3	09:53	90.8	10:39	87.9	11:26	86.5
09:08	85.9	09:54	88.7	10:40	88.4	11:27	88.8
09:09	86.1	09:55	86.9	10:41	86.9	11:28	89.5
09:10	87.5	09:56	90.6	10:42	87.4	11:29	86.1
09:11	86.8	09:57	90.4	10:43	89.4	11:30	87.7
09:12	86.1	09:58	88.3	10:44	86.5	11:31	88
09:13	85.5	09:59	88.5	10:45	89.1	11:32	86.7
09:14	87.6	10:00	88.3	10:46	87.4	11:33	86
09:15	87.3	10:01	85.7	10:47	89.9	11:34	86.5
09:16	87.4	10:02	87.5	10:48	89.4	11:35	90.1
09:17	86.8	10:03	87	10:49	89.3	11:36	89.8
09:18	88.2	10:04	86.8	10:50	89	11:37	88.2
09:19	87.5	10:05	87.3	10:51	84.1	11:38	87.4
09:20	88.2	10:06	89.3	10:52	88.2	11:39	82.5
09:21	87.8	10:07	88.3	10:53	89.2	11:40	87.7
09:22	89.8	10:08	88.5	10:54	84.4	11:41	87.5
09:23	86.1	10:09	87	10:55	86.3	11:42	90.3
09:24	87.2	10:10	86.3	10:56	90.1	11:43	86.9
09:25	87.7	10:11	88	10:57	86.5	11:44	89.5
09:26	85.5	10:12	88.1	10:59	86.8	11:45	90.3
09:27	90.9	10:13	87.6	11:00	86.2	11:46	88.4
09:28	87	10:14	86.6	11:01	86.8	11:47	89.3
09:29	88.1	10:15	87.1	11:02	90.4	11:48	85.8
09:30	91	10:16	87.2	11:03	88.5	11:49	86.6
09:31	90.4	10:17	84.8	11:04	86.1	11:50	87.4
09:32	91.2	10:18	87.8	11:05	88.6	11:51	91.8
09:33	85.4	10:19	87.5	11:06	88.6	11:52	87.7
09:34	84.2	10:20	89.1	11:07	90.9	11:53	89.6
09:35	88.5	10:21	87.8	11:08	87.4	11:54	89.8
09:36	88.1	10:22	89.5	11:09	85.1	11:55	88.3
09:37	87.9	10:23	89.2	11:10	87.2	11:56	89
09:38	92.5	10:24	88	11:11	86	11:57	87.1
09:39	89.2	10:25	87	11:12	87.2	11:58	85.6
09:40	88	10:26	89.8	11:13	87.6	11:59	85.7
09:41	88.7	10:27	89.8	11:14	87.6	12:00	87.5
09:42	90.6	10:28	90.8	11:15	87.6	12:01	87.6
09:43	88.1	10:29	86.6	11:16	85.2	12:02	89.8
09:44	88	10:30	86.3	11:17	87	12:03	88.1
09:45	87.6	10:31	88.5	11:18	84	12:04	89.9

Tabla A1.1.

Continuación

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
12:05	90.4	12:50	89.1	13:35	87.9	14:20	89
12:06	88.4	12:51	89.3	13:36	87.7	14:21	88.8
12:07	88.1	12:52	86.4	13:37	86.7	14:22	87
12:08	87.1	12:53	88.6	13:38	90.7	14:23	87
12:09	89.2	12:54	86.6	13:39	84.2	14:24	90
12:10	87.3	12:55	87.2	13:40	89.2	14:25	85.7
12:11	88.5	12:56	88	13:41	89	14:26	86
12:12	86.4	12:57	86.1	13:42	88.5	14:27	87.2
12:13	90.4	12:58	85.7	13:43	87.1	14:28	88.1
12:14	89.3	12:59	88.8	13:44	87.5	14:29	89.1
12:15	86.5	13:00	85.6	13:45	86.3	14:30	85.7
12:16	88.4	13:01	86.9	13:46	88.5	14:31	87.4
12:17	86.8	13:02	86	13:47	85.1	14:32	90.1
12:18	87.7	13:03	87.8	13:48	86.9	14:33	84.2
12:19	90.2	13:04	87.2	13:49	90.6	14:34	87
12:20	88.1	13:05	87.2	13:50	88.2	14:35	89.2
12:21	87	13:06	87.9	13:51	88.8	14:36	87.1
12:22	91.3	13:07	88.3	13:52	86.8	14:37	88.4
12:23	89.6	13:08	88.7	13:53	86.5	14:38	88.2
12:24	86.9	13:09	88.6	13:54	85.5	14:39	89.4
12:25	88.3	13:10	87.9	13:55	88.5	14:40	86.1
12:26	87.6	13:11	88.7	13:56	86.5	14:41	89.7
12:27	91.1	13:12	89.6	13:57	88.7	14:42	87.3
12:28	87.5	13:13	88.9	13:58	88.6	14:43	84.9
12:29	91.1	13:14	90.4	13:59	87.8	14:44	83.7
12:30	89	13:15	87.2	14:00	87.5	14:45	89.5
12:31	89.9	13:16	87.2	14:01	86.9	14:46	86.4
12:32	87.4	13:17	85.2	14:02	87	14:47	84.6
12:33	89.8	13:18	88.7	14:03	89.5	14:48	90.1
12:34	88.5	13:19	84.3	14:04	89.2	14:49	84.5
12:35	85.7	13:20	87.4	14:05	86.4	14:50	92.8
12:36	89.9	13:21	88.8	14:06	87.3	14:51	89.9
12:37	86	13:22	87.8	14:07	87.7	14:52	86.8
12:38	87	13:23	88.5	14:08	86	14:53	84.7
12:39	84.7	13:24	88.2	14:09	84.6	14:54	84.8
12:40	89.3	13:25	89.1	14:10	88.4	14:55	86.5
12:41	85.1	13:26	85.9	14:11	86.4	14:56	89.7
12:42	87.4	13:27	87.9	14:12	86.1	14:57	90.7
12:43	87.3	13:28	89.3	14:13	87.2	14:58	91.9
12:44	85	13:29	88.4	14:14	80.3	14:59	87.7
12:45	86.8	13:30	88.9	14:15	93.1	15:00	86.3
12:46	86.7	13:31	86.4	14:16	87.4	15:01	
12:47	85.5	13:32	86.6	14:17	89.1	15:02	
12:48	91	13:33	89.6	14:18	85.9	15:03	
12:49	88.9	13:34	85.1	14:19	88.2	15:04	

Tabla A1.2.

Lecturas de ruido obtenidas en la carretera México-Querétaro, km 208+200

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
09:00	87.7	09:46	87.4	10:32	85.1	11:19	82.6
09:01	84.3	09:47	82.6	10:33	80.9	11:20	84.1
09:02	87.5	09:48	83.3	10:34	84	11:21	85.3
09:03	86	09:49	89.2	10:35	84.3	11:22	84.3
09:04	85.5	09:50	85	10:36	84.7	11:23	82.1
09:05	85.3	09:51	85.6	10:37	83.5	11:24	82.3
09:06	87.3	09:52	87	10:38	82.9	11:25	82.6
09:07	85.5	09:53	86.2	10:39	86.5	11:26	82.5
09:08	85.4	09:54	80.7	10:40	86.2	11:27	85.1
09:09	85.3	09:55	86.4	10:41	83.4	11:28	86.5
09:10	82.8	09:56	89.1	10:42	85.9	11:29	82
09:11	86.3	09:57	86.3	10:43	83	11:30	85
09:12	87.3	09:58	84.8	10:44	83.1	11:31	85.3
09:13	87.9	09:59	87.6	10:45	86.7	11:32	83.4
09:14	86.2	10:00	85.4	10:46	85.5	11:33	84.9
09:15	87.6	10:01	86.3	10:47	83.8	11:34	84.4
09:16	86.2	10:02	84.6	10:48	86.3	11:35	82.2
09:17	86.1	10:03	82.9	10:49	84.6	11:36	80.5
09:18	85.4	10:04	86.8	10:50	83.9	11:37	83.4
09:19	87	10:05	85.5	10:51	84	11:38	83.8
09:20	83.8	10:06	85.4	10:52	84.2	11:39	84
09:21	87.3	10:07	85.8	10:53	80.4	11:40	84.5
09:22	86.5	10:08	81.1	10:54	83.9	11:41	82.5
09:23	82.8	10:09	86.5	10:55	85.1	11:42	83.5
09:24	88.5	10:10	82.6	10:56	86.1	11:43	84.4
09:25	87.9	10:11	88.5	10:57	82.5	11:44	86.1
09:26	87.5	10:12	83.6	10:59	85.8	11:45	84.9
09:27	86.9	10:13	85	11:00	86.9	11:46	84.8
09:28	86.9	10:14	87.6	11:01	83.9	11:47	83.1
09:29	85.6	10:15	85.1	11:02	85.8	11:48	85.5
09:30	84.8	10:16	82.1	11:03	84.6	11:49	85.6
09:31	82.8	10:17	85.7	11:04	87.3	11:50	84.2
09:32	83.6	10:18	82.4	11:05	83.8	11:51	83.1
09:33	86.5	10:19	87.1	11:06	87.7	11:52	82.7
09:34	82.9	10:20	82.4	11:07	83.9	11:53	83.4
09:35	82	10:21	85.2	11:08	84.1	11:54	84.9
09:36	85.5	10:22	84.1	11:09	86.5	11:55	84.2
09:37	89.2	10:23	86.8	11:10	82.3	11:56	81.3
09:38	86.3	10:24	84.3	11:11	82.1	11:57	87.5
09:39	88.1	10:25	83.1	11:12	81.3	11:58	85.3
09:40	85	10:26	85.6	11:13	82.8	11:59	85
09:41	87.5	10:27	87.5	11:14	82.5	12:00	77.9
09:42	87	10:28	85.1	11:15	84.1	12:01	87.3
09:43	84.4	10:29	84	11:16	82.9	12:02	84.9
09:44	85.1	10:30	85	11:17	82	12:03	85
09:45	85.6	10:31	87.6	11:18	82.4	12:04	85.1

Tabla A1.2.

Continuación

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
12:05	85.4	12:50	87.3	13:35	86.8	14:20	86
12:06	85.8	12:51	84	13:36	82.9	14:21	83.1
12:07	86.6	12:52	85.4	13:37	86.3	14:22	83.8
12:08	83.9	12:53	86.7	13:38	86.2	14:23	84.4
12:09	82.4	12:54	82.6	13:39	85.9	14:24	81.1
12:10	88.9	12:55	84.1	13:40	86.8	14:25	81.9
12:11	83.1	12:56	85	13:41	83.4	14:26	85.4
12:12	85.2	12:57	87.6	13:42	85.9	14:27	82.4
12:13	82.9	12:58	84.3	13:43	83	14:28	87.9
12:14	86.3	12:59	83.3	13:44	83.1	14:29	85.1
12:15	86.2	13:00	83.4	13:45	86.7	14:30	81.9
12:16	85.9	13:01	83.3	13:46	85.5	14:31	87.2
12:17	86.8	13:02	83.3	13:47	83.8	14:32	85.3
12:18	84.2	13:03	83	13:48	86.3	14:33	85
12:19	85.7	13:04	88.2	13:49	84.6	14:34	84.8
12:20	86.2	13:05	81.8	13:50	83.9	14:35	84.4
12:21	81.2	13:06	85.2	13:51	84	14:36	84.3
12:22	82.9	13:07	84.2	13:52	84.2	14:37	83.1
12:23	83.2	13:08	85.1	13:53	80.4	14:38	85.6
12:24	84.4	13:09	85.8	13:54	83.9	14:39	87.5
12:25	83.3	13:10	84.5	13:55	84.3	14:40	85.1
12:26	88.9	13:11	84.1	13:56	83.1	14:41	84
12:27	88.6	13:12	86.3	13:57	85.6	14:42	85
12:28	83.2	13:13	87.9	13:58	87.5	14:43	87.6
12:29	86.2	13:14	85.1	13:59	85.1	14:44	85.1
12:30	88.4	13:15	81.9	14:00	84	14:45	80.9
12:31	85.5	13:16	87.2	14:01	85	14:46	84
12:32	84.7	13:17	85.3	14:02	87.6	14:47	84.3
12:33	84.7	13:18	85	14:03	85.1	14:48	84.7
12:34	85.8	13:19	84.8	14:04	87.7	14:49	83.5
12:35	87.5	13:20	84.4	14:05	84.3	14:50	82.9
12:36	80.9	13:21	86	14:06	87.5	14:51	86.5
12:37	83	13:22	88.2	14:07	86	14:52	84.8
12:38	86	13:23	86.7	14:08	85.5	14:53	84.4
12:39	83.1	13:24	85.7	14:09	85.3	14:54	84.3
12:40	83.8	13:25	88.8	14:10	87.3	14:55	83.1
12:41	84.4	13:26	82.1	14:11	85.5	14:56	85.6
12:42	81.1	13:27	84.4	14:12	85.4	14:57	87.5
12:43	81.9	13:28	81.7	14:13	85.3	14:58	85.1
12:44	85.4	13:29	85	14:14	82.8	14:59	84
12:45	82.4	13:30	83.3	14:15	86.3	15:00	83.1
12:46	85.3	13:31	84.2	14:16	85.5	15:01	
12:47	82.7	13:32	86.3	14:17	84.7	15:02	
12:48	83.3	13:33	84.6	14:18	84.7	15:03	
12:49	84.9	13:34	82.9	14:19	83	15:04	

Tabla A1.3.

Lecturas de ruido obtenidas en la carretera Querétaro-Celaya, km 10+000

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
09:00	76	09:46	73.5	10:32	73.5	11:19	77
09:01	78	09:47	75.5	10:33	76	11:20	79
09:02	78.5	09:48	76	10:34	75.5	11:21	80.5
09:03	79	09:49	77	10:35	78	11:22	76
09:04	81	09:50	75.5	10:36	78	11:23	80
09:05	80	09:51	78	10:37	76.5	11:24	78.5
09:06	78.5	09:52	75	10:38	73	11:25	78
09:07	78	09:53	77.5	10:39	77	11:26	77
09:08	77.5	09:54	75	10:40	74.5	11:27	77
09:09	78	09:55	74	10:41	78.5	11:28	82.5
09:10	78	09:56	76	10:42	76	11:29	79.5
09:11	75.5	09:57	77.5	10:43	77.5	11:30	75
09:12	77.5	09:58	77.5	10:44	79	11:31	76.5
09:13	76	09:59	76	10:45	75.5	11:32	76
09:14	76	10:00	76.5	10:46	78	11:33	77.5
09:15	75	10:01	75.5	10:47	78	11:34	78.5
09:16	77.5	10:02	74.5	10:48	72.5	11:35	76.5
09:17	77	10:03	77	10:49	74.5	11:36	80
09:18	80.5	10:04	76.5	10:50	79.5	11:37	79
09:19	75	10:05	74.5	10:51	79	11:38	80
09:20	80	10:06	75.5	10:52	76	11:39	84
09:21	77.5	10:07	76	10:53	78.5	11:40	78
09:22	77	10:08	76.5	10:54	81	11:41	78
09:23	76.5	10:09	77.5	10:55	77.5	11:42	78.5
09:24	77.5	10:10	75.5	10:56	77.5	11:43	76.5
09:25	76	10:11	79	10:57	78.5	11:44	81
09:26	75	10:12	75	10:59	77.5	11:45	77.5
09:27	77.5	10:13	76	11:00	78	11:46	75.5
09:28	78.5	10:14	78.5	11:01	79.5	11:47	77.5
09:29	74	10:15	75.5	11:02	79.5	11:48	77
09:30	76	10:16	77.5	11:03	77.5	11:49	76.5
09:31	75.5	10:17	77	11:04	78.5	11:50	77
09:32	76.5	10:18	74.5	11:05	79	11:51	76
09:33	74.5	10:19	76	11:06	76	11:52	75
09:34	76	10:20	77	11:07	74.5	11:53	76.5
09:35	75.5	10:21	78.5	11:08	78.5	11:54	77.5
09:36	74.5	10:22	76	11:09	77.5	11:55	75
09:37	78.5	10:23	75.5	11:10	75.5	11:56	77
09:38	76.5	10:24	75.5	11:11	75	11:57	77.5
09:39	76	10:25	79	11:12	78	11:58	75.5
09:40	74	10:26	74.5	11:13	75	11:59	79
09:41	78	10:27	76	11:14	78.5	12:00	77.5
09:42	73.5	10:28	75.5	11:15	78	12:01	80
09:43	76	10:29	75.5	11:16	78	12:02	75
09:44	73.5	10:30	74.5	11:17	81	12:03	77.5
09:45	76.5	10:31	78	11:18	79	12:04	77

Tabla A1.3.

Continuación

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
12:05	77	12:50	79.5	13:35	82.5	14:20	81.5
12:06	76	12:51	80	13:36	78.5	14:21	77.5
12:07	77.5	12:52	79.5	13:37	77.5	14:22	80.5
12:08	77.5	12:53	81	13:38	79.5	14:23	78
12:09	78.5	12:54	80.5	13:39	77	14:24	76
12:10	78.5	12:55	86.5	13:40	78	14:25	81
12:11	78	12:56	79	13:41	79	14:26	82
12:12	80.5	12:57	81	13:42	76.5	14:27	80
12:13	78	12:58	79	13:43	84	14:28	78
12:14	79	12:59	76	13:44	78	14:29	81
12:15	77.5	13:00	80.5	13:45	79	14:30	79
12:16	76	13:01	79	13:46	79.5	14:31	76.5
12:17	75	13:02	80.5	13:47	79.5	14:32	77.5
12:18	76	13:03	83.5	13:48	78.5	14:33	78.5
12:19	75.5	13:04	79	13:49	78	14:34	81.5
12:20	77	13:05	78.5	13:50	79	14:35	78.5
12:21	72	13:06	77.5	13:51	79.5	14:36	82
12:22	77	13:07	82.5	13:52	78	14:37	79
12:23	75	13:08	80.5	13:53	78.5	14:38	80.5
12:24	76	13:09	79.5	13:54	77	14:39	78
12:25	76	13:10	82	13:55	77.5	14:40	79
12:26	76	13:11	81.5	13:56	77	14:41	80.5
12:27	74	13:12	80.5	13:57	77.5	14:42	80
12:28	77	13:13	83.5	13:58	74.5	14:43	77.5
12:29	77	13:14	78.5	13:59	78	14:44	80.5
12:30	76	13:15	79	14:00	74.5	14:45	77.5
12:31	77.5	13:16	79	14:01	79	14:46	78.5
12:32	73.5	13:17	80	14:02	77.5	14:47	86.5
12:33	75.5	13:18	79.5	14:03	77.5	14:48	79.5
12:34	77	13:19	81.5	14:04	79	14:49	79
12:35	78	13:20	81.5	14:05	79	14:50	77
12:36	76	13:21	76.5	14:06	78	14:51	77
12:37	76.5	13:22	78.5	14:07	77.5	14:52	80
12:38	75	13:23	78	14:08	76.5	14:53	79
12:39	74.5	13:24	77.5	14:09	77.5	14:54	77
12:40	75.5	13:25	77	14:10	74.5	14:55	76.5
12:41	74.5	13:26	79	14:11	80	14:56	79
12:42	76.5	13:27	78	14:12	85	14:57	77
12:43	74	13:28	78	14:13	76	14:58	77
12:44	75.5	13:29	80	14:14	76	14:59	79
12:45	74	13:30	81	14:15	87	15:00	80
12:46	78.5	13:31	80.5	14:16	76.5	15:01	
12:47	78.5	13:32	77.5	14:17	75	15:02	
12:48	78.5	13:33	79	14:18	85	15:03	
12:49	79.5	13:34	80	14:19	75	15:04	

Tabla A1.4.

Lecturas de ruido obtenidas en la carretera Querétaro-San Luis Potosí, km 26+200

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
09:00	75.5	09:46	74.5	10:32	81.5	11:19	80.5
09:01	78.5	09:47	78	10:33	82.5	11:20	81.5
09:02	79	09:48	79.5	10:34	80.5	11:21	83
09:03	77.5	09:49	78	10:35	81.5	11:22	79
09:04	82	09:50	78.5	10:36	82	11:23	82
09:05	78	09:51	78.5	10:37	81	11:24	84.5
09:06	79.5	09:52	78	10:38	81.5	11:25	78.5
09:07	79	09:53	77.5	10:39	80	11:26	80.5
09:08	80.5	09:54	82	10:40	79	11:27	82.5
09:09	80.5	09:55	81.5	10:41	82.5	11:28	84
09:10	80	09:56	82.5	10:42	83	11:29	80
09:11	79.5	09:57	79	10:43	80.5	11:30	80
09:12	79.5	09:58	78.5	10:44	80	11:31	79
09:13	77	09:59	81	10:45	82	11:32	85.5
09:14	79.5	10:00	79.5	10:46	81.5	11:33	81.5
09:15	79	10:01	78.5	10:47	79.5	11:34	79.5
09:16	78	10:02	79	10:48	79.5	11:35	79
09:17	82	10:03	79.5	10:49	80.5	11:36	80
09:18	78	10:04	78.5	10:50	79.5	11:37	80.5
09:19	79.5	10:05	81	10:51	80.5	11:38	80.5
09:20	81	10:06	78.5	10:52	81	11:39	80
09:21	78.5	10:07	76	10:53	81	11:40	78
09:22	78.5	10:08	79.5	10:54	81.5	11:41	83
09:23	76	10:09	79.5	10:55	81	11:42	78.5
09:24	79	10:10	77.5	10:56	79.5	11:43	76.5
09:25	79	10:11	79	10:57	82	11:44	80.5
09:26	78.5	10:12	78	10:59	81.5	11:45	80
09:27	79	10:13	78	11:00	80	11:46	80.5
09:28	85	10:14	82	11:01	79.5	11:47	82
09:29	78	10:15	78.5	11:02	80	11:48	78.5
09:30	77	10:16	81.5	11:03	80.5	11:49	77.5
09:31	79	10:17	79.5	11:04	82.5	11:50	77.5
09:32	78	10:18	81.5	11:05	81.5	11:51	79
09:33	79.5	10:19	79	11:06	80.5	11:52	80.5
09:34	79.5	10:20	83.5	11:07	83	11:53	85.5
09:35	80.5	10:21	79	11:08	83	11:54	82
09:36	83	10:22	80	11:09	80.5	11:55	80.5
09:37	81.5	10:23	78	11:10	79.5	11:56	81
09:38	78.5	10:24	77	11:11	81	11:57	81.5
09:39	80	10:25	80.5	11:12	81	11:58	79.5
09:40	77.5	10:26	81	11:13	80	11:59	83
09:41	79	10:27	81.5	11:14	79	12:00	83.5
09:42	79	10:28	78.5	11:15	82.5	12:01	83.5
09:43	79.5	10:29	79.5	11:16	81.5	12:02	80
09:44	79	10:30	81	11:17	80.5	12:03	81
09:45	76.5	10:31	80.5	11:18	84.5	12:04	80

Tabla A1.4.

Continuación

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
12:05	83	12:50	82	13:35	83.5	14:20	83
12:06	80.5	12:51	81.5	13:36	81.5	14:21	82
12:07	81.5	12:52	80	13:37	81	14:22	78
12:08	80.5	12:53	79.5	13:38	80.5	14:23	80
12:09	79	12:54	81.5	13:39	78.5	14:24	81.5
12:10	79	12:55	81	13:40	80	14:25	79.5
12:11	78.5	12:56	78.5	13:41	82.5	14:26	79
12:12	82.5	12:57	79.5	13:42	79	14:27	80.5
12:13	82	12:58	83.5	13:43	79.5	14:28	79.5
12:14	82.5	12:59	80.5	13:44	77	14:29	81.5
12:15	78	13:00	82	13:45	83	14:30	82.5
12:16	80.5	13:01	80.5	13:46	79.5	14:31	80
12:17	80	13:02	79.5	13:47	80.5	14:32	82
12:18	80.5	13:03	80.5	13:48	77.5	14:33	79.5
12:19	80	13:04	79.5	13:49	81	14:34	80.5
12:20	80	13:05	79	13:50	78.5	14:35	81
12:21	80.5	13:06	80	13:51	80	14:36	81
12:22	81.5	13:07	80.5	13:52	80.5	14:37	80
12:23	81.5	13:08	80.5	13:53	80	14:38	80.5
12:24	80.5	13:09	80	13:54	80.5	14:39	80.5
12:25	82.5	13:10	78	13:55	81.5	14:40	79
12:26	80.5	13:11	83	13:56	80	14:41	79.5
12:27	81.5	13:12	78.5	13:57	82.5	14:42	80
12:28	81	13:13	76.5	13:58	80	14:43	82.5
12:29	80.5	13:14	80.5	13:59	82.5	14:44	83
12:30	81	13:15	80	14:00	78.5	14:45	83
12:31	82	13:16	80.5	14:01	80	14:46	82.5
12:32	82	13:17	82	14:02	81.5	14:47	80
12:33	78.5	13:18	78.5	14:03	81	14:48	80.5
12:34	80	13:19	77.5	14:04	82	14:49	80.5
12:35	81.5	13:20	77.5	14:05	80	14:50	81
12:36	80	13:21	79	14:06	82	14:51	80.5
12:37	80.5	13:22	80.5	14:07	84	14:52	81
12:38	80.5	13:23	85.5	14:08	80.5	14:53	79
12:39	80	13:24	82	14:09	80	14:54	81
12:40	81	13:25	80.5	14:10	79.5	14:55	79
12:41	80	13:26	81	14:11	79	14:56	80.5
12:42	78.5	13:27	81.5	14:12	82.5	14:57	80.5
12:43	80	13:28	79.5	14:13	83	14:58	82.5
12:44	81	13:29	83	14:14	81	14:59	80
12:45	81.5	13:30	83.5	14:15	82	15:00	82
12:46	78	13:31	83.5	14:16	81.5	15:01	
12:47	81	13:32	80	14:17	81.5	15:02	
12:48	81	13:33	81	14:18	78.5	15:03	
12:49	85	13:34	81.5	14:19	82.5	15:04	

Tabla A1.5.

Lecturas de ruido obtenidas en la carretera Querétaro-San Luis Potosí, km 12+800

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
09:00	77.5	09:46	80.5	10:32	79.5	11:19	81
09:01	79.5	09:47	81	10:33	80.5	11:20	78.5
09:02	79.5	09:48	78	10:34	79	11:21	81.5
09:03	80.5	09:49	79.5	10:35	81.5	11:22	80.5
09:04	83.5	09:50	81	10:36	79	11:23	79
09:05	80.5	09:51	80.5	10:37	82	11:24	80
09:06	81.5	09:52	82.5	10:38	78.5	11:25	78.5
09:07	82	09:53	80.5	10:39	79.5	11:26	80
09:08	81.5	09:54	77.5	10:40	80.5	11:27	79
09:09	79.5	09:55	76.5	10:41	80	11:28	80.5
09:10	79.5	09:56	78.5	10:42	81	11:29	83
09:11	81.5	09:57	80	10:43	79.5	11:30	80
09:12	79	09:58	78.5	10:44	80	11:31	80.5
09:13	79	09:59	81	10:45	78	11:32	83
09:14	80	10:00	80	10:46	82	11:33	80.5
09:15	78	10:01	80.5	10:47	79.5	11:34	79.5
09:16	81.5	10:02	78.5	10:48	82.5	11:35	78.5
09:17	80.5	10:03	81	10:49	81	11:36	82
09:18	80	10:04	79	10:50	79	11:37	81.5
09:19	80.5	10:05	81.5	10:51	79	11:38	78.5
09:20	81	10:06	80	10:52	79.5	11:39	83.5
09:21	79.5	10:07	77	10:53	77.5	11:40	85
09:22	78	10:08	81	10:54	81.5	11:41	81
09:23	81	10:09	81.5	10:55	80.5	11:42	80.5
09:24	78	10:10	79	10:56	81.5	11:43	80.5
09:25	78	10:11	81	10:57	79.5	11:44	78.5
09:26	84	10:12	78.5	10:59	75	11:45	78
09:27	81.5	10:13	79	11:00	82	11:46	80.5
09:28	78	10:14	80.5	11:01	81.5	11:47	76
09:29	78.5	10:15	79.5	11:02	77	11:48	77.5
09:30	78.5	10:16	80.5	11:03	82	11:49	77
09:31	79	10:17	81.5	11:04	81.5	11:50	77
09:32	81	10:18	82	11:05	81.5	11:51	78
09:33	79	10:19	80.5	11:06	81	11:52	75.5
09:34	80	10:20	80	11:07	83	11:53	77
09:35	79.5	10:21	81.5	11:08	78.5	11:54	78
09:36	83.5	10:22	78.5	11:09	78	11:55	78.5
09:37	78.5	10:23	80	11:10	81.5	11:56	77
09:38	80	10:24	81	11:11	79.5	11:57	83.5
09:39	80	10:25	84	11:12	81.5	11:58	81
09:40	78	10:26	80	11:13	80.5	11:59	76.5
09:41	80	10:27	81.5	11:14	80.5	12:00	76
09:42	79.5	10:28	79	11:15	78	12:01	81.5
09:43	78	10:29	81.5	11:16	77.5	12:02	80.5
09:44	79	10:30	79.5	11:17	81	12:03	78.5
09:45	79.5	10:31	80	11:18	81.5	12:04	78

Tabla A1.5.

Continuación

<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>	<i>Hora</i>	<i>Lectura</i>
12:05	78	12:50	77.5	13:35	75	14:20	79
12:06	79	12:51	80.5	13:36	78.5	14:21	79
12:07	80	12:52	78.5	13:37	76.5	14:22	78.5
12:08	78.5	12:53	76	13:38	77	14:23	78.5
12:09	78	12:54	75.5	13:39	77	14:24	80.5
12:10	78.5	12:55	80	13:40	74.5	14:25	76.5
12:11	80	12:56	80	13:41	78.5	14:26	76.5
12:12	75	12:57	78.5	13:42	75	14:27	76.5
12:13	78	12:58	81.5	13:43	75.5	14:28	77
12:14	78	12:59	78	13:44	78.5	14:29	73.5
12:15	80.5	13:00	82	13:45	82	14:30	74.5
12:16	79.5	13:01	78.5	13:46	82.5	14:31	79.5
12:17	79	13:02	79.5	13:47	79.5	14:32	77
12:18	77	13:03	80.5	13:48	77.5	14:33	77.5
12:19	77.5	13:04	82	13:49	76	14:34	78
12:20	77.5	13:05	75.5	13:50	80	14:35	74.5
12:21	78	13:06	79.5	13:51	74	14:36	77
12:22	80	13:07	76.5	13:52	75.5	14:37	73
12:23	78.5	13:08	77.5	13:53	78.5	14:38	77.5
12:24	81.5	13:09	77	13:54	75	14:39	77
12:25	78	13:10	80	13:55	76	14:40	74
12:26	78	13:11	76.5	13:56	83	14:41	76
12:27	80	13:12	78	13:57	78.5	14:42	78
12:28	76	13:13	76.5	13:58	78.5	14:43	83
12:29	76	13:14	77.5	13:59	80	14:44	76.5
12:30	78.5	13:15	76	14:00	80	14:45	78.5
12:31	76	13:16	77.5	14:01	77	14:46	77.5
12:32	77	13:17	83	14:02	77.5	14:47	76.5
12:33	75	13:18	80	14:03	76	14:48	78
12:34	79	13:19	80.5	14:04	77.5	14:49	78
12:35	78	13:20	76.5	14:05	79.5	14:50	76.5
12:36	77.5	13:21	77.5	14:06	76.5	14:51	76
12:37	79.5	13:22	78	14:07	77.5	14:52	78
12:38	77.5	13:23	78	14:08	76	14:53	78.5
12:39	78	13:24	82	14:09	75.5	14:54	81
12:40	77.5	13:25	79.5	14:10	75.5	14:55	80
12:41	76.5	13:26	80	14:11	77	14:56	79.5
12:42	76	13:27	79	14:12	79	14:57	77.5
12:43	81	13:28	79	14:13	78	14:58	74
12:44	75.5	13:29	77	14:14	78.5	14:59	79.5
12:45	75	13:30	78	14:15	78	15:00	79
12:46	79	13:31	76.5	14:16	75	15:01	
12:47	78	13:32	75	14:17	76	15:02	
12:48	81	13:33	77	14:18	76	15:03	
12:49	78	13:34	77	14:19	77	15:04	



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 (www.imt.mx)**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 (www.imt.mx)**

CIUDAD DE MEXICO

Av Patriotismo 683
Col San Juan Mixcoac
03730, México, D F
tel (55) 55 985610
fax (55) 55 986457

SANFANDILA

km 12+000, carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Gro
tel (442) 216 9777
fax (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx