



*Certificación ISO 9001:2008 ‡*

---

---

# **Desarrollo de una propuesta de modelo e indicador de ruido generado por la operación del transporte carretero en México**

María Guadalupe López Domínguez  
Juan Fernando Mendoza Sánchez  
Rodolfo Téllez Gutiérrez

**Publicación Técnica No. 324  
Sanfandila, Qro., 2009**



---

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

**Desarrollo de una propuesta de modelo e indicador  
de ruido generado por la operación del transporte  
carretero en México**

**Publicación Técnica No. 324**  
**Sanfandila, Qro., 2009**

---





Este trabajo fue realizado por el grupo de investigación en impacto ambiental de la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por los investigadores M en C María Guadalupe López Domínguez y el M en C Juan Fernando Mendoza Sánchez investigadores del grupo, y el M en C Rodolfo Téllez Gutiérrez, Coordinador de Infraestructura del IMT.

Se agradece la colaboración del T.S.U. Armando Alonzo Tomassini de la Universidad Tecnológica del Estado de Querétaro.



# Índice

---

Resumen		vi
Abstract		viii
Resumen	Ejecutivo	x
Capítulo 1.	Introducción	1
Capítulo 2.	Marco teórico	3
Capítulo 3.	Estudios de ruido	13
Capítulo 4.	Indicador y modelo de ruido	23
Capítulo 5.	Conclusiones	27
Bibliografía		29
Anexo		31

---

---

# Resumen

---

Esta investigación propone un modelo e indicador ambiental para el ruido generado en las carreteras basado en estudios realizados en las carreteras federales del Estado de Querétaro, retomando los estudios llevados a cabo en el año 2000 y 2005, e incluyendo los efectuados en el año 2009. El análisis considera la composición del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de las carreteras monitoreadas. Los niveles de ruido registrados son comparados con los estándares de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) a través del indicador ambiental. El monitoreo de los niveles de ruido corresponden a mediciones directas del nivel equivalente de ruido para 7,5 horas de monitoreo en el día, de acuerdo a la metodología establecida en estudios anteriores.

Los resultados muestran que los niveles de ruido registrados para los puntos monitoreados en el estado de Querétaro, presentan niveles de ruido hasta 25% por encima de los máximos establecidos por la OCDE de 65dB(A). También se observa un cambio en la composición del TDPA en ciertas carreteras, como en la carretera Querétaro-San Luis Potosí, donde el TDPA pesado aumenta 10,5% entre los años 2005 y 2009, caso contrario de la autopista Querétaro-Irapuato donde disminuye cerca de 17%. Adicionalmente, los resultados evidencian la importancia de las características del pavimento, donde los niveles de ruido muestran en promedio incrementos hasta en 7,5dB(A) para las carreteras con pavimento de concreto hidráulico (rígido) con respecto a las de asfalto (flexible).

El indicador ambiental de ruido propuesto se basa en la relación entre los niveles de presión sonora continuo equivalente [ $L_{eq}(\text{total})$ ] en periodos diurnos medidos en campo, con los referidos por la OCDE. Tanto el indicador ambiental como el modelo propuesto están basados en mediciones directas en carreteras y podría ser representativo para caminos con condiciones geográficas y de operación similares. El modelo relaciona los índices ambientales de ruido calculados con la variable de TDPA total y pesado, con una correlación de  $R^2 = 0,9027$ . Se generan pronósticos reservados con respecto al TDPA para los próximos años, teniendo que si en los próximos 5 años, el aumento en el TDPA total crece con las mismas tendencias que los últimos años, los niveles de ruido se verán incrementados hasta un 7% con respecto a los actuales.

El trabajo incluye también recomendaciones para la implementación de medidas tanto de mitigación, como de prevención para reducir y controlar los niveles de ruido en carreteras.

---

## **Abstract**

---

This paper shows a proposal for noise modeling and an environmental noise index on roads based on studies for federal highways in Queretaro State. Both proposals utilize studies carried out in 2000 and 2005, and recently in 2009. The analyses between these studies take in consideration the composition of the Annual Average Daily Traffic (AADT) and trucks. The registered noise levels are compared with standards of Organization of Economics and Cooperation Development (OECD) through the environmental index. Monitoring of noise in highways was taken by direct measurements of acoustic equivalent levels during 7,5 hours in daytime.

Results show that the noise levels for monitored points present levels until 25% above the maximums standard recommend by OECD. Also a change in the AADT composition is observed in certain highways, like in the Queretaro–San Luis Potosi highway, where the heavy AADT increase 10,5% from the year 2005 to 2009; on the contrary in the Queretaro-Irapuato highway where it decreases 17%. In addition, results showed the importance of pavement characteristics, where noise levels show an increase until 7,5 dB(A) for highways with concrete pavement (rigid) from those with asphalt pavement (flexible).

The environmental noise index proposed is based on the equivalent sound pressure levels [ $L_{eq}(\text{total})$ ] in daytime and its comparison with international standards (OECD). The environmental noise index as well as the noise modeling, and its use is suggested for similar geographic and operations conditions. The noise model correlated the environmental index with the total and heavy AADT, with a correlation of  $R^2 = 0,9027$ ; some reserved projections for the next years are made according to AADT, if in the next 5 years increase the AADT with the same tendency noise levels will be raised until 7% respect to the present levels.

Based on the registered levels is necessary take preventive and mitigation measurements in order to reduce and control noise levels in the highways.

---

## **Resumen ejecutivo**

---

El presente trabajo presenta una propuesta de un indicador ambiental y un modelo de ruido, basado en estudios de monitoreo de niveles de ruido generado por la operación del transporte carretero en el Estado de Querétaro.

Para ello, se llevó a cabo un estudio de seguimiento de monitoreo de niveles de ruido para el 2009 en diez puntos establecidos en tres de las principales carreteras federales de Querétaro; donde se hicieron registros de las mediciones directas del nivel de ruido equivalente [ $L_{eq}(\text{total})$ ] por periodos continuos de 7,5 horas, de acuerdo con metodologías internacionales, los resultados obtenidos fueron sumados a los que se realizaron en los estudios de los años 2000 y 2005.

Con el análisis en conjunto de los estudios se identificó la evolución con respecto al tiempo de los niveles de ruido en las carreteras del estado, y se pudieron realizar proyecciones en el comportamiento del ruido y el efecto del crecimiento del TDPA en el crecimiento de los niveles sonoros; se incluye también la variable del transporte pesado como una variable directamente relacionada como generadora de niveles de ruido más altos.

Con base en el estudio realizado en 2009, se proponen indicadores ambientales de ruido para desarrollar un modelo de tendencia para el pronóstico de la evolución del ruido generado en carreteras del estado. Este modelo está basado en el análisis estadístico y de regresión lineal. Se considera una serie de variables constantes que se proponen de igual manera para ser empleadas en condiciones geográficas y operacionales similares, así como similitudes en las velocidades de operación en carreteras.

El comportamiento del ruido entre los estudios 2000, 2005 y 2009 mostraron que el  $L_{eq}(\text{total})$  actual ha disminuido entre los años 2005-2009; se ha tenido también un cambio en la composición del TDPA pesado con respecto al total en estos mismos años, según lo observado para la carretera Querétaro-San Luis Potosí el TDPA aumenta un 10,5%, caso contrario para la carretera Querétaro-Irapuato, donde el TDPA pesado disminuye en 17,5%.

El indicador ambiental de ruido involucra los niveles de presión sonora continuo equivalente [ $L_{eq}(\text{total})$ ] correspondiente a periodos diurnos de monitoreo de 7,5 h por lo que son comparables y referenciados a los máximos recomendados para carreteras existentes en periodo diurno por la OCDE de 65dB(A).

El desarrollo del modelo propuesto está basado en datos de campo efectuados en 2009 para las carreteras del Estado de Querétaro y se sugiere su utilidad para condiciones geográficas y de operación similares. La relación que muestran los índices ambientales de ruido presentan una buena correlación ( $R^2 = 0,9027$ ), de la cual podemos generar pronósticos reservados con respecto al TDPA para los próximos años.

---

De acuerdo con este modelo, para los próximos 5 años si el aumento en el TDPA total crece con las mismas tendencias que en los últimos años, los niveles de ruido se verán incrementados hasta un 7% con respecto a los actuales. Se hace resaltar la importancia tanto de indicadores como de modelos que incluyan un mayor número de variables en sus estimaciones, para lo que se requiere la generación de datos de campo para periodos de monitoreo mayores y estaciones fijas.

Finalmente, con base en los niveles registrados en el alcance a este estudio, es necesario tomar medidas tanto de mitigación como de prevención para reducir y controlar los niveles de ruido en carreteras; en este sentido este trabajo continúa apoyando la propuesta del IMT realizada para normalizar los niveles de ruido máximos permisibles, donde se pretende reducir dichos niveles a valores deseables de por lo menos 75dB(A) para que paulatinamente en 10 años alcanzar un nivel recomendado de 65dB(A) con el objeto de proteger la salud humana.



# 1 Introducción

---

Desde hace años, el ruido se ha convertido en un factor contaminante constante en la mayoría de las aglomeraciones urbanas y suburbanas, convirtiéndose en la actualidad en un grave problema a la salud humana con efectos fisiológicos, psicológicos, así como problemas económicos y sociales.

En el presente trabajo aborda el estudio del impacto sonoro de una carretera, producto de los niveles de inmisión que se originan en su entorno en función del nivel emitido y de las condiciones de propagación entre emisor y receptor. La emisión sonora de una carretera depende fundamentalmente de la intensidad de vehículos que transitan en ella, y de estos, el porcentaje de vehículos ligeros y pesados, su velocidad, el tipo de pavimento, el estado de conservación del vehículo, la pendiente de la carretera, el tipo de flujo de tráfico, entre otros factores. El impacto más fuerte se identifica en zonas próximas a las ciudades, consideradas como suburbanas.

El capítulo 2 realiza una revisión del marco teórico en materia del ruido ambiental y sus efectos negativos en la salud humana, manejado desde el punto de vista de un agente contaminante al medio ambiente y a los seres humanos. Describe también la metodología para llevar a cabo las mediciones de los niveles de ruido en campo, los indicadores de medición de dichos niveles y las normativas aplicables al estudio. Se aborda la legislación en materia de ruido, tanto los estándares internacionales como los nacionales. Se realiza una introducción sobre los indicadores y los modelos ambientales en materia de ruido y que sirven de referencia para la construcción de los propios, el cual es el objetivo de la presente investigación.

Para la realización del modelo y del indicador del ruido fue necesario realizar mediciones del monitoreo del ruido carretero en estaciones definidas previamente en estudios realizados en el año 2000 y 2005. Tanto los resultados de los estudios de 2009, como los de 2000 y 2005 son mostrados en el capítulo 3. Describe la zona de estudio y la red de carreteras que conforma el estado de Querétaro, aunque las estaciones solo están definidas en las carreteras federales del mismo estado. Las estaciones de estudio fueron georeferenciadas para el estudio de 2009 y se incluyeron características de las estaciones de monitoreo tales como el tipo de pavimento en el punto de medición.

El capítulo 3 también incluye una serie de análisis de la información registrada en las estaciones de medición, así como la correlación de los niveles de ruido registrados con respecto del Transito Diario Promedio Anual (TDPA) y el TDPA de

los vehículos pesados. Se incluyen gráficas de regresión lineal de las relaciones comentadas, así como un análisis con el tipo de pavimento en cada una de las mediciones.

El desarrollo del Indicador Ambiental de Ruido (IAR) y el modelo de ruido son desarrollados y planteados en el capítulo 4, donde se explica como fueron obtenidos tanto el modelo como el IAR, así como una breve interpretación de los resultados obtenidos. Adicionalmente con el modelo se plantea una tabla de comportamiento de los niveles de ruido en un plazo de 5 años, donde se evidencia el incremento de los niveles sonoros en función del crecimiento vehicular.

Por último se muestran las conclusiones del trabajo, donde se plantea la necesidad de continuar alimentando el modelo mediante más estudios de campo para realizar predicciones más asertivas sobre la estimación de los niveles de ruido mediante modelos calibrados, en función del TDPA u otras variables que se deseen incluir a la modelación. Se manifiesta también la necesidad de contar con legislación ambiental que coadyuve a aminorar y controlar la emisión del ruido carretero.

## 2 Marco teórico

---

El ruido ha sido definido como cualquier señal indeseada que interfiere en la transmisión, percepción o interpretación de una señal útil. Refiriéndonos solamente al campo de la acústica, es cualquier sonido de espectro continuo complejo y que es percibido como molesto. Las presiones acústicas a las que el oído humano es sensible, varían en un intervalo muy amplio. Así, el umbral inferior de la audición humana que provoca una sensación auditiva (presión acústica mínima) es de  $2 \times 10^{-5}$  pascales (Pa), y el umbral máximo es de alrededor de 20 Pa. La manipulación de valores que cubren este campo varía tanto que se recurre a una escala logarítmica, utilizando el decibelio (dB) como unidad de medida. Un oído humano es capaz de percibir y soportar sonidos correspondientes a niveles de presión sonora entre 0 y 120 dB; éste último marca el umbral del dolor auditivo.

El oído humano no es sensible de la misma manera a las diferentes frecuencias, así que se han definido una serie de filtros que las ponderan para poder reflejar un nivel sonoro representativo de la sensación del ruido que realmente se recibe. Los filtros más conocidos son el tipo A, B, C y D. El utilizado en el dominio del ruido del transporte es el A, y los niveles de presión sonora utilizados se miden en decibelios A [dB(A)].

El grado de exposición de los seres vivos a niveles de ruido elevados durante periodos de tiempo prolongados, ha resultado ser una causa grave en las afecciones a la salud humana y en el deterioro de los ecosistemas naturales. Un indicador acústico ampliamente utilizado y al que se refiere la legislación en materia de ruido es el de nivel de presión sonora continuo equivalente  $L_{eq}(t)$ . Éste índice expresa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo, es decir, representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, durante el mismo intervalo de tiempo, y se acompaña siempre de la indicación del período de tiempo monitoreado. Existen otros índices acústicos estadísticos, como  $L_{10}$  y  $L_{50}$ , que representan el nivel alcanzado o sobrepasado durante el 10% y el 50% del tiempo de medición, respectivamente. El  $L_{50}$  también se conoce como la mediana estadística y representa el ruido medio.

El ruido como problema es referido como un elemento distorsionador que invade el entorno que nos rodea produciendo un deterioro de la calidad del ambiente, constituyéndose hoy día como uno de los contaminantes atmosféricos más agresivos, y considerado como uno de los mayores problemas medioambientales, ya que no sólo causa un deterioro al medio ambiente, si no que es una de las causas de trastornos físicos tales como la pérdida de audición o de desequilibrios

psicológicos en las personas expuestas a ciertos niveles de ruido dañinos y por periodos prolongados.

Este fenómeno de contaminación ambiental puede ocasionar daños psicológicos, si se está sometido ante el ruido excesivo y constante; disminuye la concentración, la efectividad y la productividad; aumenta la frecuencia de accidentes de trabajo, la irritabilidad y los estados histéricos y neuróticos, ocasiona síntomas fisiopatológicos como aceleración de la respiración y del pulso, aumento de la presión arterial, disminución del peristaltismo digestivo, problemas neuromusculares que producen dolor y falta de coordinación, disminución de la visión nocturna, aumento de la fatiga, entre otros. Puede también ocasionar lesiones irreparables como la sordera que se va desarrollando de forma crónica y permanente. La tabla 2.1. muestra algunos de los posibles efectos que ocasiona el ruido.

**Tabla 1. Efectos en la salud originados por ruido.**

Contaminante	Efectos			Consecuencias
Ruido	Malestar y estrés	Trastornos psicofísicos	Costos sanitarios	Retraso económico y social
	Trastornos del sueño	Afecciones cardiovasculares	Baja productividad	
	Pérdida de atención	Retraso escolar	Accidentes laborales y de tráfico	
	Dificultad de comunicación	Conductas agresivas	Pérdida de valor de los inmuebles	
	Pérdida del oído	Dificultad de convivencia	Ciudades inhóspitas	

Existen factores que dependen directamente de las molestias producidas por el ruido como la energía sonora con la que se produce el ruido (intensidad), la distancia de la fuente, el tiempo de exposición, la sensibilidad y actividad del receptor (cómo escuchamos), así como las expectativas y calidad de vida; es en ésta última donde se sitúan las exigencias de calidad ambiental.

## 2.1 El ruido como contaminante

En años recientes el ruido se ha convertido en un factor contaminante constante en la mayoría de las ciudades, suponiendo en la actualidad un grave problema con efectos fisiológicos, psicológicos, económicos y sociales. Se trata de manera errónea como un mal menor porque es muy difícil de caracterizar; no es constante en el tiempo ni en el espacio, no amenaza la vida de las personas y no degrada el medio de modo tan evidente como lo hacen otros tipos de contaminantes.

El principal causante de la contaminación acústica es la actividad humana. El ruido aparece como un problema de la contaminación acústica urbana, como consecuencia de la Revolución Industrial y del desarrollo de nuevos medios de transporte con el crecimiento de las ciudades. En 1972 la Organización Mundial de la Salud (OMS) catalogó al 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 ambiental menos regulada de las existentes.

El ruido es un contaminante cuya producción es la más barata y su emisión requiere muy poca energía. Su medición y cuantificación es compleja, además de no generar residuos, no produce un efecto acumulativo en el medio aunque sí puede producirlo en el hombre. Su radio de acción es inferior al de otros contaminantes, ya que no se propaga mediante los sistemas naturales como en el caso de otro tipo de contaminantes atmosféricos que se dispersan por la acción del viento. Por último, es percibido únicamente por el oído, lo que hace que sus efectos c sean subestimados.

Estudios realizados en diferentes países han demostrado que 80% de la contaminación acústica es causada por el tráfico vehicular en las ciudades, debido a la mala distribución funcional del territorio y el desarrollo urbano disperso; esto ha llevado a la creación de una extensa red de calles y avenidas que enlazan las distintas zonas de la ciudad por las que circulan de forma constante e ininterrumpida diferentes medios de transporte. Para cubrir las necesidades públicas, se ha producido un aumento exponencial de estos medios y su utilización, provocando un sensible incremento en los niveles de ruido de fondo en los ambientes exteriores, principalmente en 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 sistema del vehículo (motor, escape y transmisiones); de la fricción causada por el contacto de la llanta 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 tipo de vehículo, la cantidad de las unidades que circulan y las que lo hacen al mismo tiempo por un lugar determinado; tipo de vialidad, tipo de pavimento, entre otros factores.

La OCDE manifiesta que existe un predominio del ruido generado por los medios de transporte en relación con las demás fuentes de ruido y, que dependiendo del desarrollo del país en particular, entre 15 y 40% de la población está sometida a niveles de ruido superiores a 65 dB(A) derivados del tráfico vehicular. Con lo que respecta al ruido de ferrocarriles es el 1,7% y el transporte aéreo más del 1%, de la población que está expuesta a estos niveles.

## **2.2 Parámetros de medición del ruido**

Los ruidos generados por los automotores en operación son inestables por lo que es necesario caracterizarlos de manera simple para predecir el nivel de molestia asociado. El indicador más comúnmente utilizado es el nivel de ruido equivalente ( $L_{eq}$ ), el cual representa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo. Existe  $L_{eq}$  para un minuto, una hora, un día o para el período de tiempo que se determine, referido entre paréntesis.

Otros indicadores de la medición de ruido son los de las series estadísticas. El registro de la variación del ruido durante un cierto periodo puede descomponerse a medida de intervalos constantes; para cada intervalo se obtienen los niveles de presión sonora, definiéndose como los niveles percentiles L1, que es el nivel alcanzado o sobrepasado durante el 1% del tiempo considerado; L10, el nivel de ruido sobrepasado durante el 10%; L50, durante el 50% el cual corresponde también a la media estadística; y L90, que es el nivel de ruido sobrepasado durante el 90% del tiempo considerado, cuyo valor suele tomarse como ruido de fondo.

Existen instrumentos diseñados para obtener indicadores de ruido ( $L_{eq}$ ,  $L_{máx}$ ,  $L_{mín}$ , 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 su medición se lleva a cabo mediante sistemas preparados para una medición continua de  $L_{eq}$ , llamados sonómetros. Las Normas Mexicanas NMX-AA-047-1977 y la NMX-AA-059-1978 establecen las características y requisitos que deben contar los sonómetros. Los sonómetros conocidos como de precisión tienen la capacidad de poder calcular el nivel continuo equivalente  $L_{eq}$  incorporan funciones para la transmisión de datos a sistemas telemáticos, cálculo de percentiles y algunos análisis en frecuencia; éstos se emplean en los estudios de monitoreo de ruido en carreteras.

## **2.3 Legislación**

La Unión Europea, así como otros países de Asia y América, están poniendo en práctica programas y proyectos que tienen que ver con la contaminación ambiental por ruido.

Parte de éstos son los reportes anuales y mapas de ruido, los cuales son la base para desarrollar e implementar medidas contra el ruido emitido por vehículos e infraestructura de ferrocarril y carretera; aeronaves; equipamiento industrial y de uso al aire libre; y máquinas móviles, para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazos como los estipulados en la Directiva 2002/49/CE de la Unión Europea. Países como España, Francia, Bélgica, Portugal, Suiza y otros, se encuentran adheridos a los lineamientos marcados en esta directiva para la protección contra el ruido.

En la mayor parte de los países desarrollados han establecidos normativas con límites máximos de los niveles de ruido, definidos para las diferentes áreas que conforman una ciudad o en algunos casos específicamente para carreteras. Para el caso de zonas habitacionales los valores que los países han establecido oscilan entre los 50 y 60 dB(A). El caso particular del Reino Unido establece para el ruido carretero valores para el día entre 55-72 dB(A) para una clasificación de 4 zonas y para la noche de 45-66 dB(A).

Por otro lado diversos organismos han establecido valores máximos para la protección de la salud como la Organización Mundial de la Salud, la cual determina valores entre los 50-55 dB(A) para el día, mientras que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico ha definido como límites máximos valores para el día de 55-65 dB(A) y para la noche de 50-60 dB(A).

En lo que respecta a México, la legislación existente en materia de contaminación de ruido está plasmada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual marca en su Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido, las definiciones de fuentes móviles y fijas y determina la ejecución de estudios de ruido para prevenir y controlar las causas de contaminación ambiental originada por la emisión de ruido. Las normas oficiales aplicables sobre los niveles máximos permitidos emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y por la Secretaria del Trabajo y Protección Social para los mismos, están en las normas la NOM-079-SEMARNAT-1994, sobre emisión de ruido en vehículos nuevos en planta; NOM-080-SEMARNAT-1994, acerca del ruido emitido en escape por vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados; NOM-081-SEMARNAT-1994 sobre fuentes fijas y la NOM-082-SEMARNAT-1994 para motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta; así como la NOM-011-STPS-2001, referente a la exposición de ruido en condiciones laborales.

## 2.4 Mitigación de ruido

Una de las medidas de mitigación de ruido en carreteras, es la construcción de barreras. Tras una barrera acústica, los niveles de ruido pueden reducirse significativamente; sin embargo, existe la problemática de que en edificios que se localizan sobre colinas o en mayor elevación con respecto a las carreteras o caminos, no les beneficia esta solución.

En otros casos, cuando los edificios se encuentran contruidos de manera paralela, por la reflexión del eco del sonido, las ondas se reflejan de un edificio a otro provocando un incremento del ruido en las proximidades de la carretera. Estudios han demostrado que cuando estas ineficiencias existen, la reducción de las barreras se da sólo para 7 dB(A), incluyendo barreras naturales (vegetación).

Una efectiva medida de mitigación es directamente en la fuente generadora del ruido; como el pavimentar los caminos y carreteras con mezclas de asfalto en caliente, el cual reduce significativamente el ruido generado hacia los alrededores. Igualmente, estudios realizados en países de Europa o en los Estados Unidos han demostrado que los pavimentos de mezcla asfáltica en caliente tienen una reducción en los niveles de ruido de hasta 7 dB(A) y que en las mezclas de granulometría abierta junto con las mezclas de granulometría discontinua tipo SMA (matriz de roca con asfalto) se puede obtener una reducción de 3-5 dB(A), lo que equivaldría a duplicar la distancia entre la fuente y el receptor (Asphalt Pavement Alliance, 2005).

Otra forma de lograr la reducción de niveles de ruido es contar con lineamientos y estándares tendientes a controlar la generación del mismo. En el año 2000, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) a través del área de Medio Ambiente, inició una línea de investigación referida a la generación de ruido en algunas de las carreteras más importantes de México, con la finalidad de obtener indicadores sobre la calidad ambiental con respecto al ruido producido en carreteras. Desde entonces, se han llevado a cabo una serie de estudios en diferentes estados de la República, generándose un registro histórico de la evolución del ruido en carreteras. Los estudios evidenciaron que el nivel de ruido excede los límites máximos que han establecido las normas internacionales, incrementándose con el tiempo y con el tránsito vehicular. Con los resultados de los primeros estudios, se desarrolló una propuesta para controlar los niveles de ruido establecido inicialmente un  $L_{eq}$  (total) de 75dB(A), y adicionalmente establecer estrategias para obtener una reducción paulatina de 1dB cada año, durante 10 años hasta llegar a los 65dB(A) que establece la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) como adecuada para la protección de la salud.

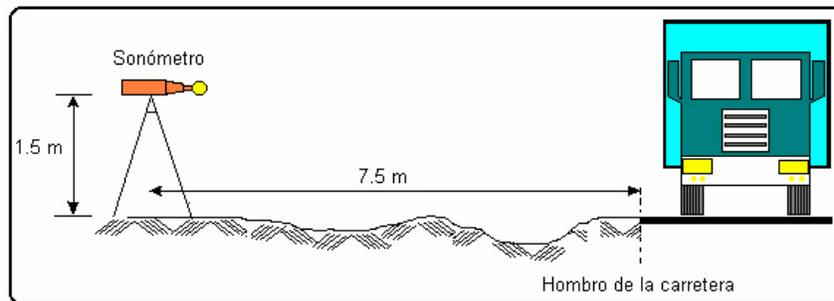
## **2.5 Metodología para la medición**

Los puntos de muestreo en las carreteras fueron seleccionados de acuerdo con un análisis preeliminar basado en los posibles efectos e impactos en los usuarios y su proximidad a zonas urbanas. Se consideraron características como el Tránsito diario promedio anual (TDPA), la carga vehicular y la localización topográfica en la determinación de los puntos críticos de muestreo, verificando que no se encuentren cerca de salidas o accesos a la carretera, pendientes pronunciadas, o cerca de obstáculos. Estas características proporcionan condiciones estándar de operación, disminuyendo las variaciones causadas por cambios en la velocidad de los vehículos, abertura de escapes en las pendientes pronunciadas o barreras que funcionan como amortiguadores o reflejan ondas sonoras.

En estos puntos se establecieron estaciones de monitoreo para la determinación directa de los niveles de ruido, bajo las siguientes consideraciones:

- Las mediciones son llevadas a cabo en períodos continuos de 7,5 horas (considerándose como continua a lo largo del tiempo de medición).
- No se realizan bajo condiciones climáticas adversas como lluvia o viento fuerte.
- Tienen una variación menor a +/- 5 dB, dado a que se emplea un sonómetro de precisión calibrado, el cual puede precisar variaciones en la presión sonora de hasta 0,5 de decibel (dB).

Las mediciones se hicieron con sonómetro de precisión, colocado en un trípode a una distancia de 7,5 m del hombro de la carretera y a una altura de 1,5 m respecto al eje de la misma, empleando además una pantalla antiviento (windscreen) para reducir variaciones por efecto del mismo; la Figura 1, esquematiza la posición del equipo con respecto a la carretera.



**Figura. 1 Medición en los puntos de monitoreo**

Se tomaron lecturas del  $L_{eq}$  de 60 segundos, en horario de 09:00 a 16:30 horas, para intervalos de 1 hora y de 30 minutos en su caso. Estas lecturas se integraron y conformaron los  $L_{eq}(\text{total})$  para las 7,5 h. El equipo de medición acústica utilizado en las mediciones es un sonómetro de precisión, marca Brüel & Kjaer, modelo 2238, con un rango de medición de 20 a 100 dB(A); calibrado para la norma mexicana NMX-AA-059-1978 "Sonómetros de Precisión".

## 2.6 Modelos de ruido

El ruido del tráfico producido en una carretera, es una secuencia de sumas simultáneas de los niveles sonoros variables generados por los distintos vehículos que conforman el tránsito.

La variación del ruido con el tiempo es la característica principal del ruido ambiental y en particular del ruido proveniente de la operación del tránsito. La intensidad del tráfico en una carretera determina en gran medida el ruido que se tiene de fondo.

Los modelos son herramientas para predecir y estimar el comportamiento de diferentes variables o parámetros, tales como los contaminantes que son emitidos a la atmósfera, incluyendo al ruido. El un buen modelo permite conocer cualquier comportamiento del factor en estudio, bajo cualquier condición meteorológica específica, aplicable a cualquier lugar, periodo de tiempo y con una alta confianza en la predicción. Actualmente, cualquier modelo se encuentra lejos de este alcance ideal; sin embargo, se pueden desarrollar modelos útiles para contaminantes en específico, controlando las variables que simplifican el comportamiento del mismo.

Existen modelaciones del ruido producido por la operación del transporte, con base en la aceleración y desaceleración de los vehículos, el peso de los vehículos, la carga, la rugosidad del camino, teniendo ecuaciones en función de la sumatoria de estos parámetros. La distribución de los niveles de ruido según monitoreos y datos de campo en diferentes países (Greenwood, 1999) no obedecen a distribuciones normales cuyas variables puedan relacionar la aceleración y el ruido generado por el tráfico, dando pobres ajustes en los modelos.

Se pueden generar modelos directamente del análisis de datos en campo y ser aplicados para condiciones y variables específicas, cuyo ajuste en los datos y variables pueda ser confiable.

## **2.7 Indicador ambiental**

De acuerdo con la OCDE (1998) las dos funciones principales de los indicadores ambientales son reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible a la realidad de una situación ambiental y simplificar los procesos de comunicación. Estas funciones básicas convierten a los indicadores en el instrumento mediante el cual se proporciona información concisa y sustentada científicamente para los tomadores de decisiones y público en general, de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente.

Los indicadores ambientales se han utilizado a nivel internacional, nacional, regional, estatal y local para diversos fines entre los que destacan: servir como herramientas para informar sobre el estado del medio ambiente, evaluar el desempeño de políticas ambientales y comunicar los progresos en la búsqueda del desarrollo sustentable.

Existen criterios básicos los cuales deben de contar con un indicador para ser confiables, deben dar una visión de las condiciones ambientales, presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno; además deben ser sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias a través del tiempo así como responder a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas.

Es fundamental que los métodos de obtención e integración de los datos cumplan con procedimientos documentados, de tal manera que la comparación de indicadores (ya sea con otro país, entidad o región) sea posible y confiable. Asimismo es importante considerar la escala de la confiabilidad o pertinencia de los indicadores, lo más recomendable es que se diseñen considerando la escala a la que se pretende aplicar (regional, estatal, nacional, internacional).

Contar con un valor contra el cual pueda ser comparado el indicador permite evaluar con mayor claridad los desempeños y la evolución del mismo; sin embargo, existen indicadores comúnmente utilizados que carecen de valores previos para establecer cómo están comportándose por el efecto de otras variables, tales como el tiempo, la población, el aumento en la demanda de recursos, la existencia de especies amenazadas, cambio de uso de suelo, entre otras.

Resumiendo, un indicador ambiental debe estar teórica y científicamente bien fundamentado, que exista información disponible y confiable para ser actualizado de manera periódica.



## **3 Estudios de Ruido**

---

### **3.1 Aspectos geográficos y climáticos del caso de estudio**

El caso de estudio fue situado en la carreteras federales del estado de Querétaro, el cual representa 0,6% de la superficie del país, equivalentes a 11 679 Km<sup>2</sup>. Colinda al norte con el estado de Guanajuato y San Luis Potosí; al este con San Luis Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, Estado de México y Michoacán y al oeste con Guanajuato. En el estado predomina un clima seco, aunque en el norte del mismo es templado moderado y presenta un aumento en la precipitación que en el resto del estado. La temperatura media anual es de 18° C.

El estado de Querétaro pertenece a la región meso-occidente del país y cuenta con una red carretera total de 3 285 Km, siendo de esta cerca de 586 Km de longitud los que componen la red federal para el Estado. Las principales rutas que cruzan a Querétaro son las rutas 57, 57D, 120, 69 y 45, conectando con la ciudad capital las rutas 57, 57D y 45 (SCT, 2008). De acuerdo a la publicación de Datos Viales por la Dirección General de Servicios Técnicos, los volúmenes de tránsito en estas últimas rutas es al año, en promedio, de 26 600, 41 600 y 26 000 vehículos respectivamente, con una composición de entre 59-77% vehículos ligeros (A), 7-4% autobuses (B), 5-2% camiones unitarios de 2 ejes (C2), 5-7% camiones unitarios de 3 ejes (C3), 11-3% tractores de 3 ejes con semi-remolque de 2 ejes (T3S2), 4-3% tractores de 3 ejes con semi-remolque de 3 ejes (T3S3), 4-3% de tractores de 3 ejes con semi-remolque de 2 y remolque de 4 ejes (T3S2R4), y entre 5-2% de otros vehículos motorizados, variando para cada ruta y tramo de interés.

La figura 2 muestra esquemáticamente la red de carreteras del estado de Querétaro actualizado al año 2009.



Figura. 2 Red carretera del Estado de Querétaro.

Fuente: Datos Viales, SCT ( 2009)

### 3.2 Ubicación de las estaciones de monitoreo

Los puntos de muestreo seleccionados para las estaciones de monitoreo se basaron en los puntos de los estudios realizados para 2000 y 2005, con las adecuaciones pertinentes debido al crecimiento de la ciudad y modificaciones llevadas a cabo en las carreteras para poder mantener la confiabilidad de las mediciones.

Se realizaron mediciones directas en los puntos cuya ubicación se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo**

PUNTO	CARRETERA	Km	Ruta	COORDENADAS	PAVIMENTO
1A	MÉXICO - QUERÉTARO (sentido a QRO)	201	57	20°34'15,26"N 100°17'22,72"O	RÍGIDO (C. HIDRAULICO)
1B	MÉXICO - QUERÉTARO (sentido a MEX)	201	57	20°34'17,79"N 100°17'23,07"O	RÍGIDO (C. HIDRAULICO)
2A	MÉXICO - QUERÉTARO (sentido a QRO)	193	57	20°33'39,76"N 100°13'59,63"O	RÍGIDO (C. HIDRAULICO)
2B	MÉXICO - QUERÉTARO (sentido a MEX)	193	57	20° 33'41,50"N 100°13'59,08"O	RÍGIDO (C. HIDRAULICO)
3A	QUERÉTARO - SAN LUIS POTOSÍ (sentido a SLP)	26	57	20° 4 7'54,92N 100°26' 53,61O	FLEXIBLE (ASFALTO)
3B	QUERÉTARO - SAN LUIS POTOSÍ (sentido a QRO)	26	57	20°47'55,5"N 100°26'55,66"O	FLEXIBLE (ASFALTO)
4A	QUERÉTARO - SAN LUIS POTOSÍ (sentido a SLP)	10	57	20°40'27,19"N 100°26'02,05"O	FLEXIBLE (ASFALTO)
4B	QUERÉTARO - SAN LUIS POTOSÍ (sentido a QRO)	10	57	20°47'03,78"N 100°23'48,43"O	FLEXIBLE (ASFALTO)
5A	QUERÉTARO - IRAPUATO (sentido GTO)	9	45	20°32'21,04"N 100°28'23,61"O	FLEXIBLE (ASFALTO)
5B	QUERÉTARO - IRAPUATO (sentido QRO)	9	45	20°32'20,08"N 100°28'24,07"O	FLEXIBLE (ASFALTO)

La figura 3 muestra la localización de las cinco estaciones de monitoreo con respecto a la ciudad de Querétaro, ubicando la marca en el lugar aproximado donde se llevaron a cabo las mediciones.



Figura. 3 Localización de los puntos de monitoreo

Fuente: Mapa de Carreteras de la SCT. (2008)

### 3.3 Estudio año 2000

La Tabla 3 muestra en resumen los promedios de  $Leq(\text{total})$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  en dB(A) y los  $TDPA_{\text{total}}$  y  $TDPA_{\text{pesado}}$ , ambos en número de vehículos, correspondientes para el año 2000. El detalle de los resultados de este estudio se encuentra en la Publicación Técnica número 154 del IMT.

Tabla 3. Resumen niveles de ruido en 2000

ESTACIÓN	QUERÉTARO				
	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$	$TDPA_{total}$	$TDPA_{pesado}$
1	77,3	77,0	79,0	37 718	9 806
2	80,6	80,5	81,5	32 325	8 081
3	76,2	76,0	77,0	15 716	4 400
4	78,3	77,8	79,3	20 843	5 210
5	75,0	73,5	76,5	10 564	3 697

### 3.4 Estudio año 2005

La Tabla 4 muestra, en resumen, los promedios de  $L_{eq}$ (total),  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  en dB(A) y los  $TDPA_{total}$  y  $TDPA_{pesado}$ , ambos en número de vehículos correspondientes para el año 2005. Para el estudio del año 2005, el detalle de los resultados de este estudio se encuentra en la Publicación Técnica número 280 del IMT.

Tabla 4. Resumen niveles de ruido en 2005

ESTACIÓN	QUERÉTARO				
	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$	$TDPA_{total}$	$TDPA_{pesado}$
1	85,2	86,1	85,0	44 654	13 814
2	88,2	89,4	87,8	48 344	16 920
3	80,7	83,0	80,0	26 961	7 544
4	79,4	82,0	79,5	32 802	6 470
5	78,4	81,6	77,0	16 804	3 864

En este estudio se concluyó que los niveles de ruido se incrementaron en todos los puntos de muestreo en las carreteras monitoreadas; las tasas de estos incrementos son variables de una carretera a otra; en promedio el incremento de los cuatro indicadores,  $L_{eq}$ , de 1,37dB(A) por año, en la carretera México–Querétaro Km. 193, en la que se observó el mayor crecimiento total de 9,08dB(A) en  $L_{eq}$  10 en los cinco años.

### 3.5 Estudio año 2009

La Tabla 5 muestra en resumen los promedios de  $L_{eq}$ (total),  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  en dB(A) y en la Tabla 6 los promedios para los puntos del 1 a 5 junto con los  $TDPA_{total}$  y  $TDPA_{pesado}$ , ambos en número de vehículos, correspondientes para el año 2009.

**Tabla 5. Resumen de resultados por punto de monitoreo de  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  y  $L_{90}$**

ESTACIÓN	Número de carriles	Temp. °C	Dirección del viento	$L_{eq}$ total dB(A)	$L_{10}$ dB(A)	$L_{50}$ dB(A)	$L_{90}$ dB(A)
1A	3	24°	19 Km./h NNE	81.08	82.1	81.1	79.4
1B	3	27.4°	18 Km./h SSE	77.23	82.1	81.1	79.4
2A	3	27.7°	23 Km./h W	78.12	79.5	78.1	76.4
2B	3	27.3°	10 Km./h SSW	77.9	79.9	78.1	75.5
3A	2	26.5°	8 Km./h SE	71.36	74.1	71.2	67.8
3B	2	21.6°	23 Km./h N	71.36	74.3	71.2	67.8
4A	2	28.4°	11 Km./h ENE	74.35	76	74.1	72.1
4B	2	26.6°	13 Km./h ENE	76.24	77.8	76.5	74.7
5A	2	21.6°	14 Km./h N	70.9	74	70.9	67.2
5B	2	20°	14 Km./h WNW	73.3	75.6	73.3	70.3

**Tabla 6. Resumen niveles de ruido y TDPA total y pesado 2009**

ESTACIÓN	QUERÉTARO				
	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$	TDPA <sub>total</sub>	TDPA <sub>pesado</sub>
1	81,1	82,1	81,1	48 804	15 373
2	78,0	79,9	78,1	47 802	15 058
3	71,4	76,6	74,6	26 880	7 123
4	74,3	76,0	74,2	36 660	12 098
5	71,0	74,0	70,9	20 300	3 289

Entre los años de estudio (2000-2005) se muestran incrementos en el TDPA total en promedio del 33% y del 29% en el TDPA para vehículos pesados. Para el año 2009, el TDPA no varía de igual manera, para la estación 1 aumenta solo en un 8,5% en el total y 10,1% en el pesado; para la estación 2 y 3 decrece con respecto al del 2005, y para la estación 4 aumenta en 10,5% en el total, pero su composición vehicular cambia incrementándose 46,5% en el pesado. Finalmente, para la estación 5, el TDPA total aumenta 17,2%, disminuyendo 17,5% en el pesado.

En el anexo 1 se muestran los gráficos de ruido y las tablas en detalle de los índices acústicos obtenidos para cada uno de los puntos.

### 3.6 Análisis con respecto al TDPA<sub>total</sub> y TDPA<sub>pesado</sub>

Las Figuras 4 y 5 muestran las relaciones de niveles de ruido con respecto al TDPA total y al TDPA pesado, respectivamente. Las correlaciones obtenidas para el TDPA total de 2009 con respecto a los niveles de ruido del año respectivo, son de 0,9098 para  $L_{eq}$ (total), 0,8505 para  $L_{50}$  y 0,8382 para  $L_{10}$ . El análisis de la evolución del ruido, señala que por cada 10.000 vehículos que aumente el TDPA habrá un aumento de 3dB(A) en los niveles de  $L_{eq}$ (total), igualmente que en  $L_{50}$  y de 2 dB(A) en  $L_{10}$ .

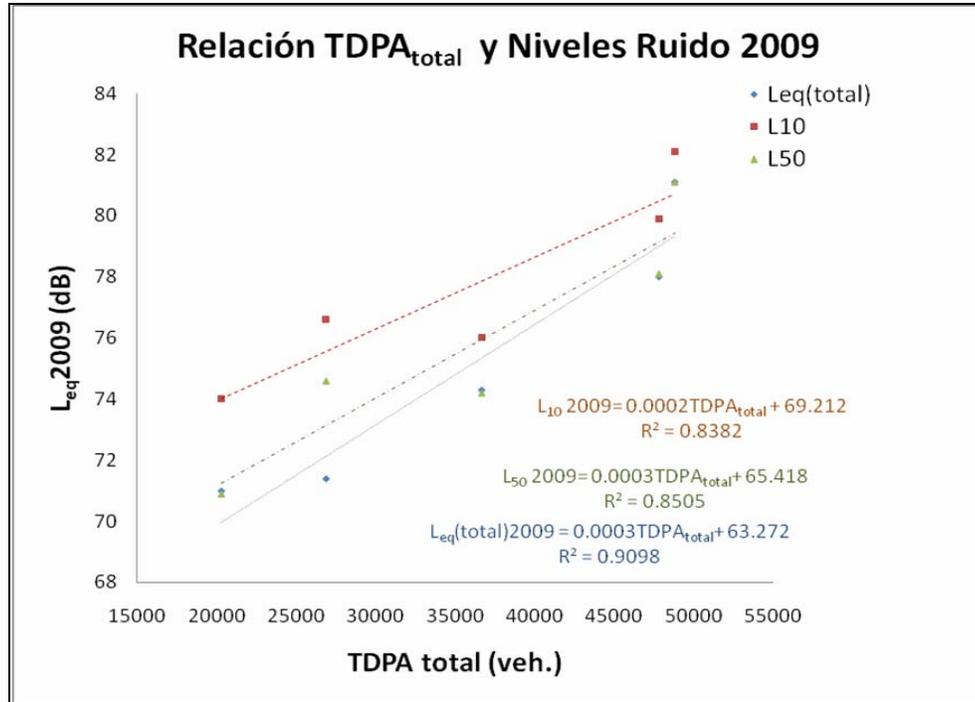


Figura. 4 Relaciones niveles de ruido 2009 y TDPA total.

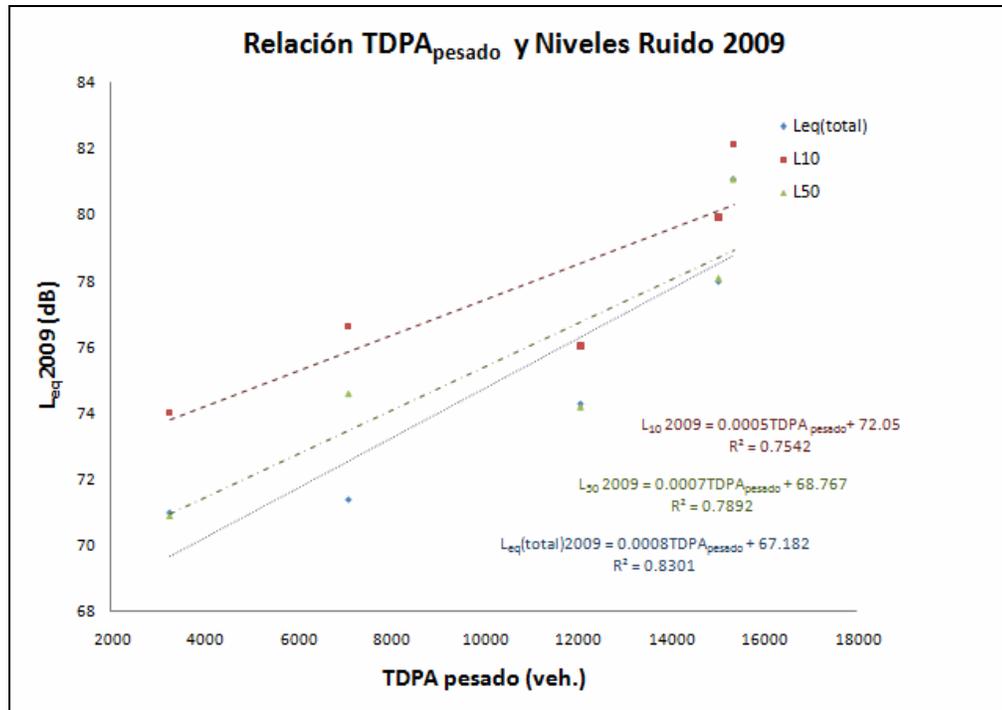


Figura. 5 Relaciones niveles de ruido 2009 y TDPA pesado.

En el caso del TDPA pesado, los coeficientes de correlación para  $L_{eq}(\text{total})$  son de 0,8301,  $L_{50}$  de 0,7892 y  $L_{10}$  de 0,7542. En este caso, un aumento en la composición de vehículos pesados se refleja de manera distinta en los niveles de ruido; sin embargo, los hace de manera significativa. Si existiera un incremento de 5.000 vehículos el  $L_{eq}(\text{total})$  aumentaría hasta 4dB(A); 3,5dB(A) en el  $L_{50}$  y 2,5 dB(A) en  $L_{10}$ .

Lo anterior muestra que los vehículos pesados son una fuente significativa de ruido en la carretera; el nivel de ruido generado en carretera por el tránsito de 5.000 vehículos pesados es mayor que el producido por el tránsito de 10.000 con una composición vehicular promedio.

### 3.7 Efecto del tipo de pavimento

En la Tabla 7 se muestran los niveles de ruido para los años y tipo de pavimento en las carreteras monitoreadas. La Figura 6 presenta el gráfico de barras donde se observa la diferencia entre las carreteras de concreto hidráulico (rígido) y las de asfalto (flexible) para los puntos correspondientes. Se observa para todos los casos que los  $L_{eq}$  en los puntos establecidos en carreteras de pavimento rígido son superiores a los registrados en carreteras en pavimento flexible, existiendo casos donde esta diferencia es de hasta 7,5 dB(A).

**Tabla 7. Comparación niveles de ruido entre tipos de pavimentos**

Tipo de Pavimento	Niveles ruido (dB)								
	2000			2005			2009		
	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{eq}$ (total)	$L_{10}$	$L_{50}$
Rígido	79,0	78,8	80,3	86,7	87,8	86,4	79,6	81,0	79,6
Flexible	76,5	75,8	77,6	79,5	82,2	78,8	72,2	75,5	73,2

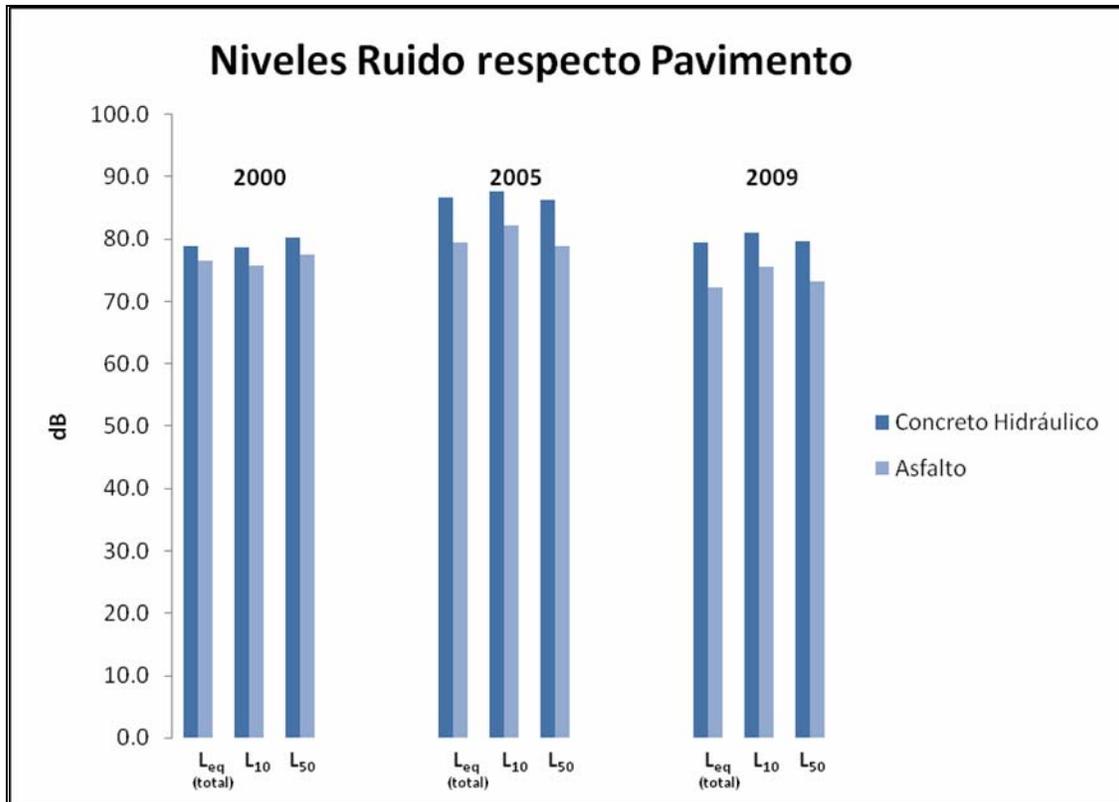


Figura. 6 Comparación de niveles de ruido con respecto al tipo de pavimento

## 4 Indicador y modelo de ruido

---

### 4.1 Indicador Ambiental de Ruido (IAR)

Para medir el impacto del ruido ambiental (contaminación acústica) se deben utilizar varios indicadores como los referidos en el capítulo anterior, los cuales determinan niveles de sonoros de acuerdo a estándares internacionales, sin embargo es necesario establecer indicadores para estudiar la evolución del mismo.

Derivado de lo anterior el IAR esta basado en el indicar acústico  $L_{eq}(total)$  y esta referido a los niveles que la Organización para el Desarrollo Económico y la Cooperación (OCDE) recomienda para el ruido de día (Tabla 8). Existen indicadores propuestos por la Unión Europea en base solo a los indicadores  $L_{eq}$  día y  $L_{eq}$  noche, relacionando únicamente a los niveles sonoros.

**Tabla 8. Niveles máximos recomendados de ruido por la OCDE**

$L_{eq}$ (día)		$L_{eq}$ (noche)	
Carretera nueva	Carretera existente	Carretera nueva	Carretera existente
60+/-5 dB(A)	65+/-5 dB(A)	50-55 dB(A)	55-60 dB(A)

Este indicador es la relación directa entre la media de la energía percibida por el intervalo del tiempo transcurrido entre 65dB(A) que corresponde al nivel recomendado por la OCDE.

$$IAR = \frac{Leq(total)}{65dB(A)}$$

El IAR muestra de una forma sencilla el estado de los niveles de emisión de ruido en las carreteras con respecto a los valores determinados internacionalmente para las carreteras existentes.

De esta manera se tienen los índices ambientales de ruido tal y como se muestran en la Tabla 9 para los puntos y años correspondientes de acuerdo con los estudios llevados a cabo para cada año.

**Tabla 9. Índices ambientales de ruido (IAR)**

PUNTO	L <sub>eq</sub> (total)			IAR		
	2000	2005	2009	2000	2005	2009
1	77,3	85,2	81,1	1,19	1,31	1,25
2	80,6	88,2	78,0	1,24	1,36	1,20
3	76,2	80,7	71,4	1,17	1,24	1,10
4	78,3	79,4	74,3	1,20	1,22	1,14
5	75,0	78,4	71,0	1,15	1,21	1,09
<b>Promedio</b>	<b>77,5</b>	<b>82,4</b>	<b>75,1</b>	<b>1,19</b>	<b>1,27</b>	<b>1,16</b>

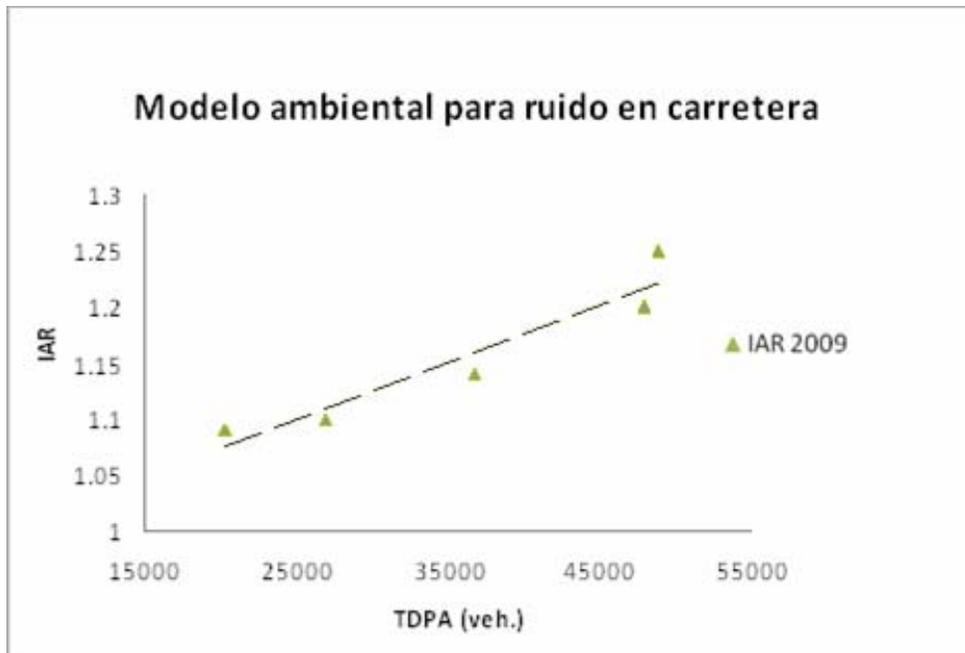
En los estudios de los distintos años, los niveles de ruido están por arriba del límite máximo de la OCDE. Para el caso del 2009 está un 16% por arriba; sin embargo, este decreció con respecto a lo registrado en 2000 y 2005. Este comportamiento se puede atribuir a variables como es un mejor estado superficial de las carreteras, controles en las velocidades de operación en las respectivas carreteras así como a una mejora de las características de los vehículos que se encuentran circulando.

## 4.2 Modelo de ruido

Debido a diversos factores como la forma de la conducción del vehículo, el estado de conservación de éste, la fluidez del tráfico, la pendiente en la carretera o autopista, las condiciones de propagación sonora desde la vía de circulación al receptor y, por último, la geometría de la carretera y estado del pavimento, influyen en los niveles de ruido generados en la carretera, el modelo planteado en este trabajo esta basado en los resultados de la medición directa en las estaciones de estudio, en otro tipo de modelos se incluye el ruido de fondo, y otras variables como las condiciones climáticas (temperatura, humedad, dirección del viento) se consideran constantes en el ruido generado y que eventualmente pudieran modificar los niveles registrados y utilizados en lo modelos.

El desarrollo del modelo para la estimación de ruido esta basado en los índices ambientales de ruido que se obtuvieron en campo para el 2009 y su relación al TDPA total de vehículos para el respectivo año. En la Figura 7 se muestra la correlación que presentan estos datos con una R de 0,9057; la ecuación para el IAR obtenida es:

$$\text{IAR}_{2009} = 5 \times 10^{-6} \text{TDPA}_{\text{total}2009} + 0,9703$$



**Figura. 7 Tendencias de los índices ambientales de ruido 2009**

Con la ecuación anterior se pueden obtener estimaciones futuras de acuerdo al crecimiento del tránsito, por ejemplo con un aumento del TDPA en 5 años, se tiene un crecimiento del 32% del mismo y los índices de ruido ambiental se comportarían como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10. Índices de ruido por estación**

ESTACIÓN	TDPA total	IAR
1	64421	1.29
2	63098	1.29
3	35481	1.15
4	48391	1.21
5	26796	1.10

La tendencia en el crecimiento del TDPA se toma como ha sido observado para los años posteriores a 2009 en el caso de las carreteras involucradas en este estudio del Estado de Querétaro.

De esta manera se puede continuar trabajando en la modelación del ruido para poder predecir su comportamiento a través del tiempo, en función de las diversas variables que están relacionadas en la generación de éste agente contaminante.

## 5 Conclusiones

---

Los estudios de ruido realizados indican que los niveles de ruido registrados en las cinco estaciones monitoreadas en el estado de Querétaro en 2009, sobrepasan los máximos establecidos por la OCDE [65dB(A)] hasta en un 25 %.

El comportamiento del ruido entre los estudios de 2000, 2005 y 2009 mostraron que el  $L_{eq}(\text{total})$  actual ha disminuido entre 2005-2009; se ha tenido también un cambio en la composición del TDPA pesado con respecto al total en estos mismos años, observado en la carretera Querétaro–San Luis Potosí (estación 4), caso contrario para la estación 5, donde el TDPA pesado disminuye 17,5%.

El indicador ambiental de ruido muestra el comportamiento de los niveles de ruido registrados con respecto al estándar internacional de la OCDE, dicha relación permite ver un nivel de ruido que sobrepasado en las carreteras del estado. La comparativa del IAR entre las diferentes mediciones no permite realizar conclusiones mas precisas al respecto, sin embargo se puede observar en ellas como se ha comportando en las diversas mediciones y las diferentes estaciones.

El modelo de ruido desarrollado con los índices de ruido ambientales presentó una buena correlación ( $R^2 = 0,9027$ ), con la cual podemos generar pronósticos prudentes con respecto al crecimiento Tránsito Diario Promedio Anual para los próximos años.

De acuerdo con este modelo para los próximos 5 años si el aumento del TDPA total crece con las mismas tendencias que los últimos años, los niveles de ruido se verán incrementados hasta en un 7% con respecto a los actuales. Se hace resaltar la importancia tanto de indicadores como de modelos que incluyan un mayor número de variables en sus estimaciones.

Se concluye finalmente, que en base a los niveles registrados en alcance a este estudio, es necesario tomar medidas tanto de mitigación como de prevención para reducir y controlar los niveles de ruido en carreteras; en este sentido este trabajo continua generando información para que las autoridades competentes puedan desarrollar normas donde se establezcan los niveles máximos permisibles y las estrategias para reducir los niveles cuando exista población expuesta o ecosistemas afectados que representa alto valor ambiental.



## Bibliografía

---

Asphalt Pavement Alliance, 2005. <http://www.quietpavement.com>. Actualización 2005. Consulta Agosto 2009.

DEFRA. Department for Environment, Food and Rural Affairs. <http://www.defra.gov.uk>. Actualización Mayo 2008. Consulta Agosto 2009.

Comisión para la Cooperación Ambiental. *Medidas Voluntarias para Asegurar el Cumplimiento Ambiental*. Montreal, Canadá. Marzo de 1998.

Cueto Ancela, José Luís. *Guía para la realización de mapas estratégicos de ruido y planes de acción*. Laboratorio de Ingeniería Acústica de la Universidad de Cádiz. España.

Datos Viales. 2009. Estado de Querétaro.

Diario Oficial de la Unión Europea. *Recomendación de la comisión relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes*. Bruselas, Bélgica, Agosto de 2003.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; Diario Oficial de la Federación; México D.F., 1988 y 2000.

Organización Internacional del Trabajo. *C 152 Convenio sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios)*. Ginebra, Suiza, 1979.

Organización Internacional del Trabajo. *C148 Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones)*. Ginebra, Suiza, 1977.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. [www.profepa.gob.mx](http://www.profepa.gob.mx) , México D.F., 2007.

Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión del ruido. Diario Oficial de la Federación; México D.F., 6 de diciembre de 1982.

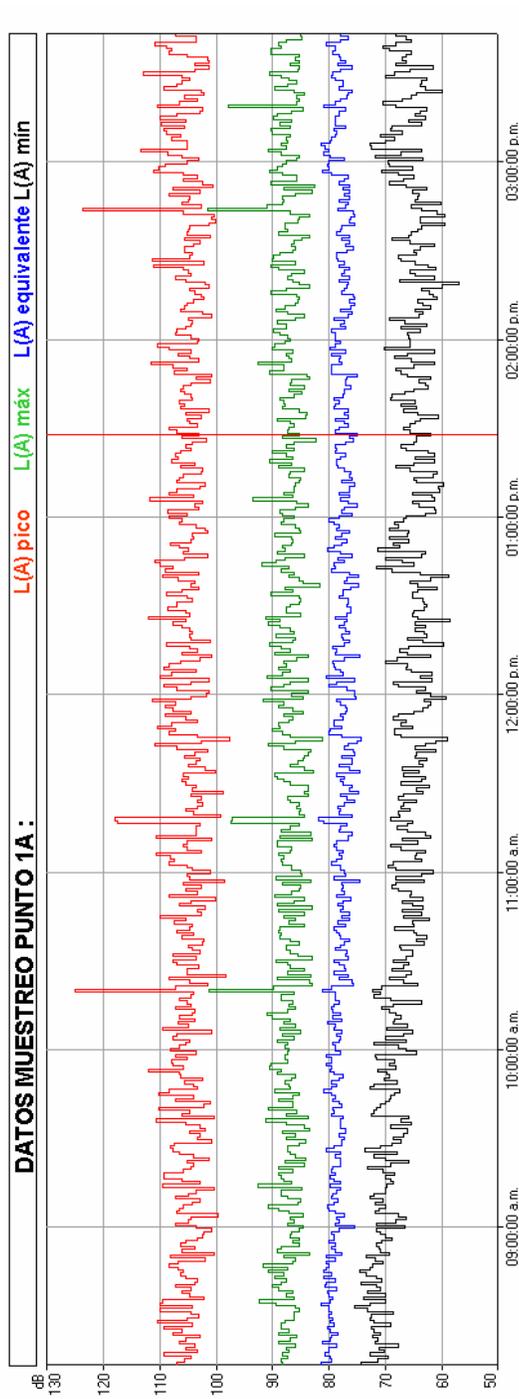
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx); México D.F., 2007.

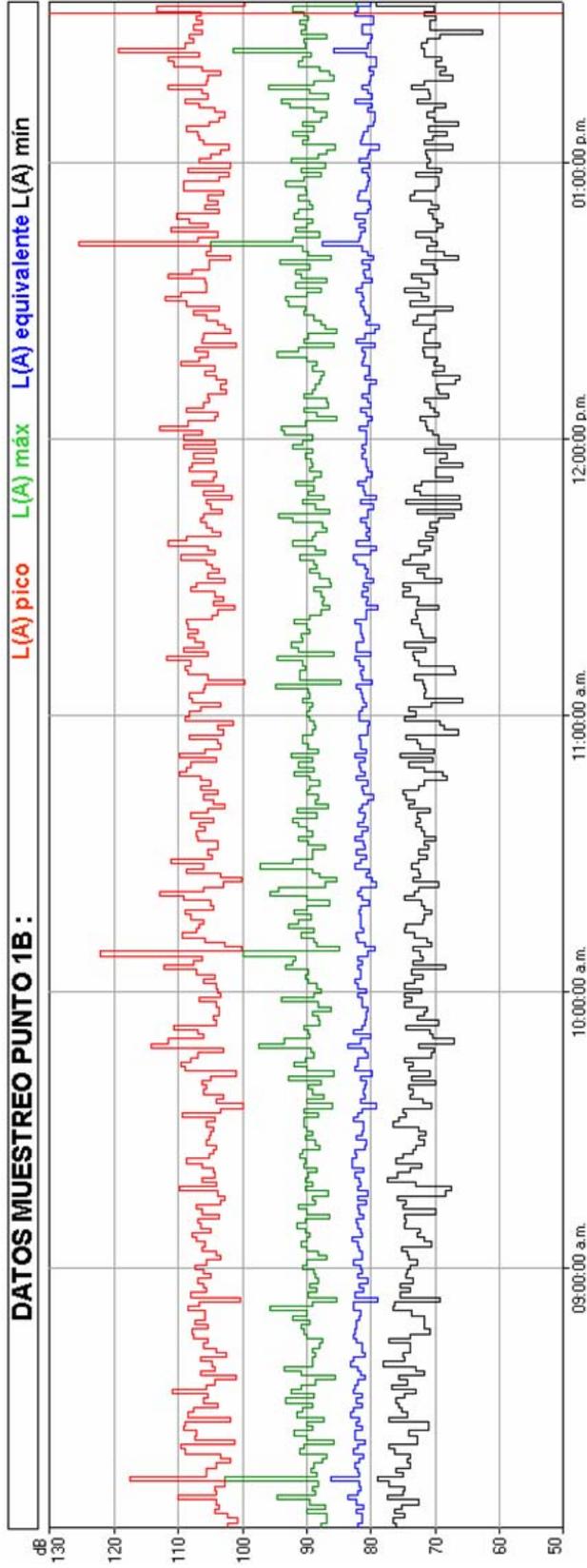
Sanz Sáiz, Ricardo; Zulueta Taboada, Antonio; Gil Pérez, José Ignacio. Seguimiento Ambiental de Obras Marítimas. Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. España.

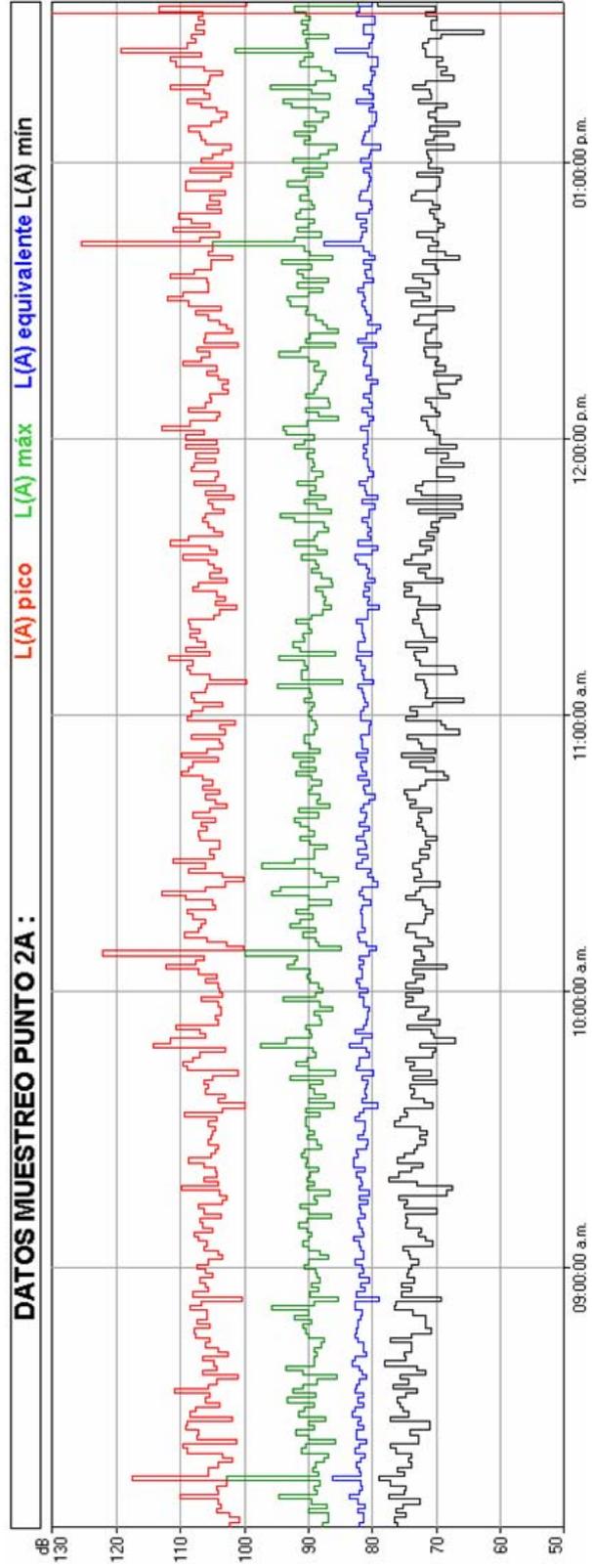
INEGI. 2005. Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>. Consulta Agosto 2009

Greenwood, P.E., Ward, L.M., Wefelmeyer, W. 1999. Statistical analysis of stochastic resonance in a simple setting. The American Physical Society. Vol. 6. Num. 4, pp., 4687-4695.

# Anexo 1

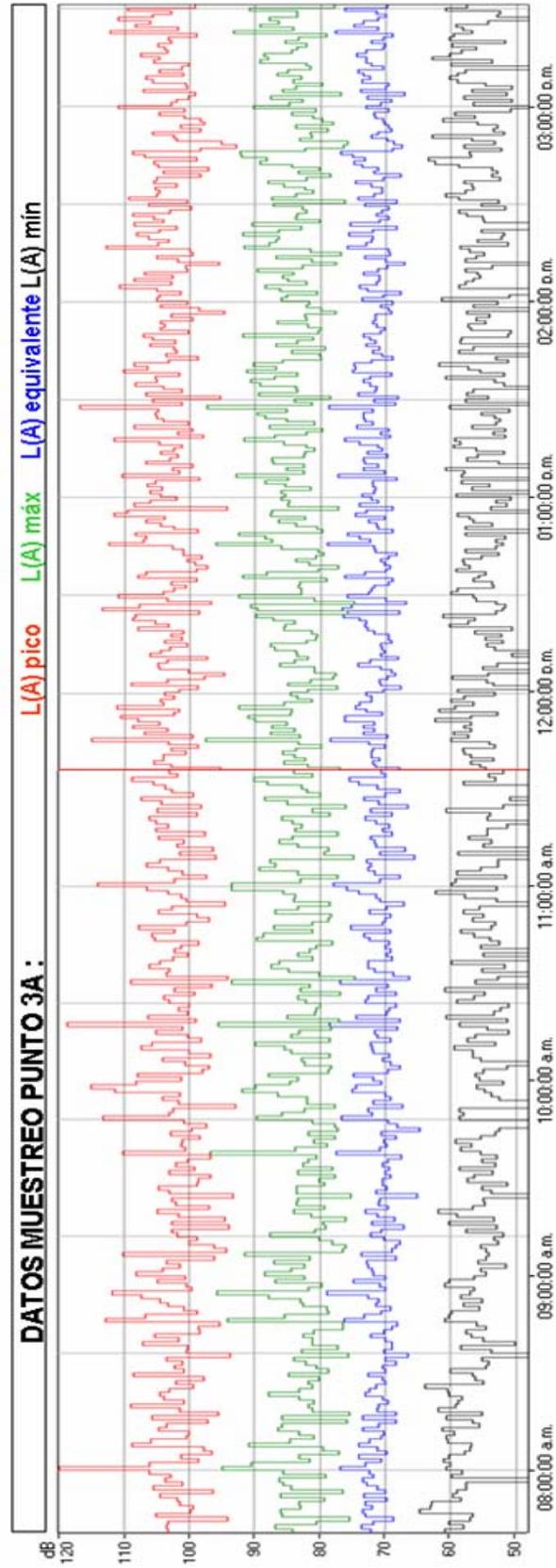


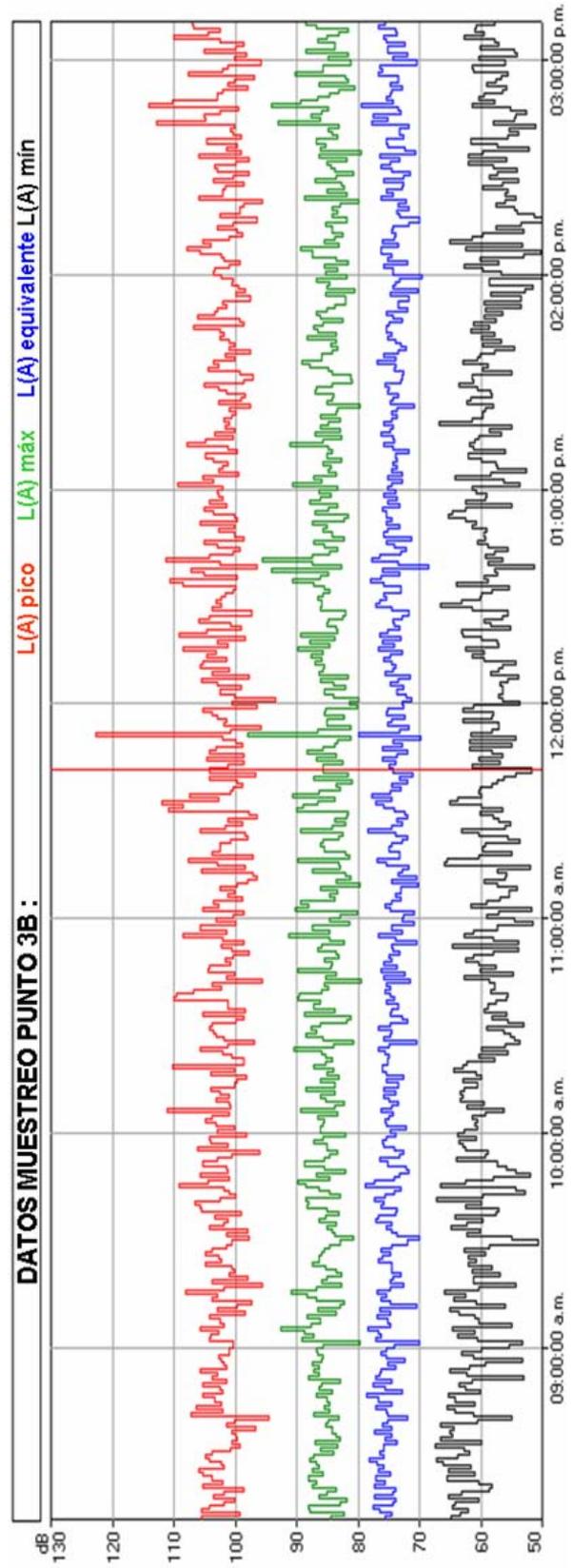


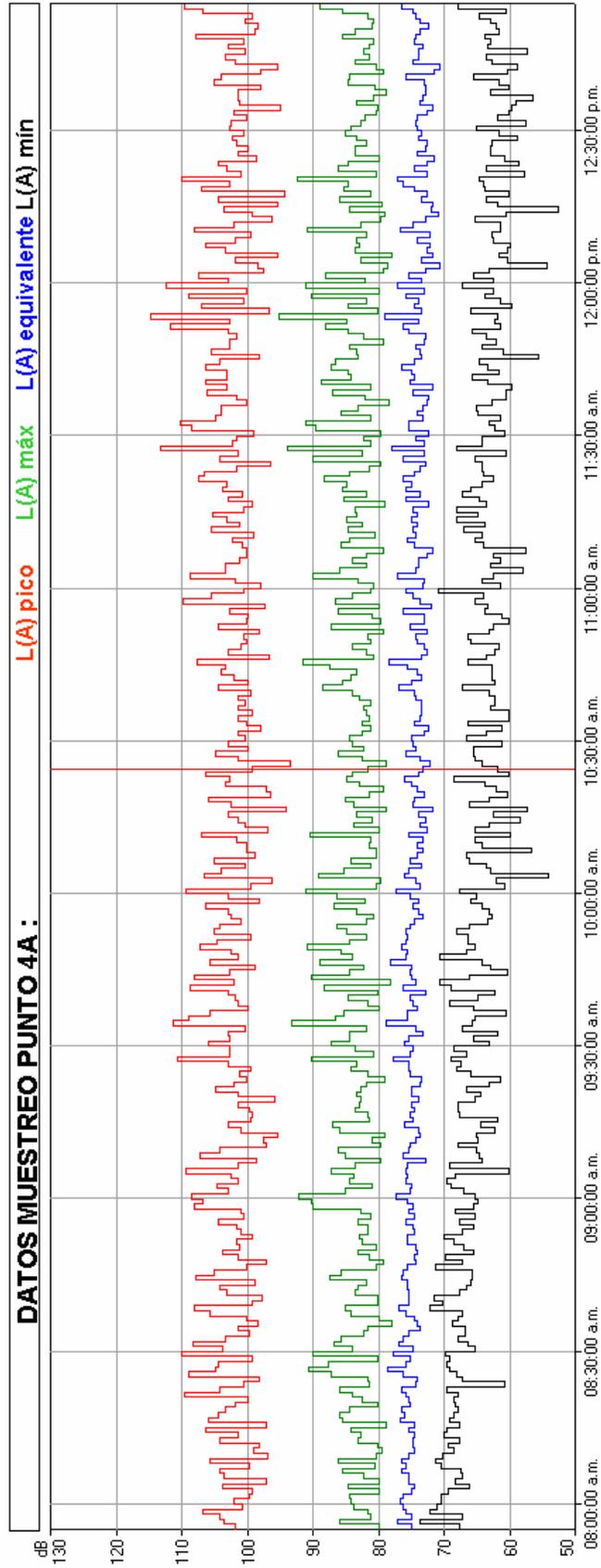


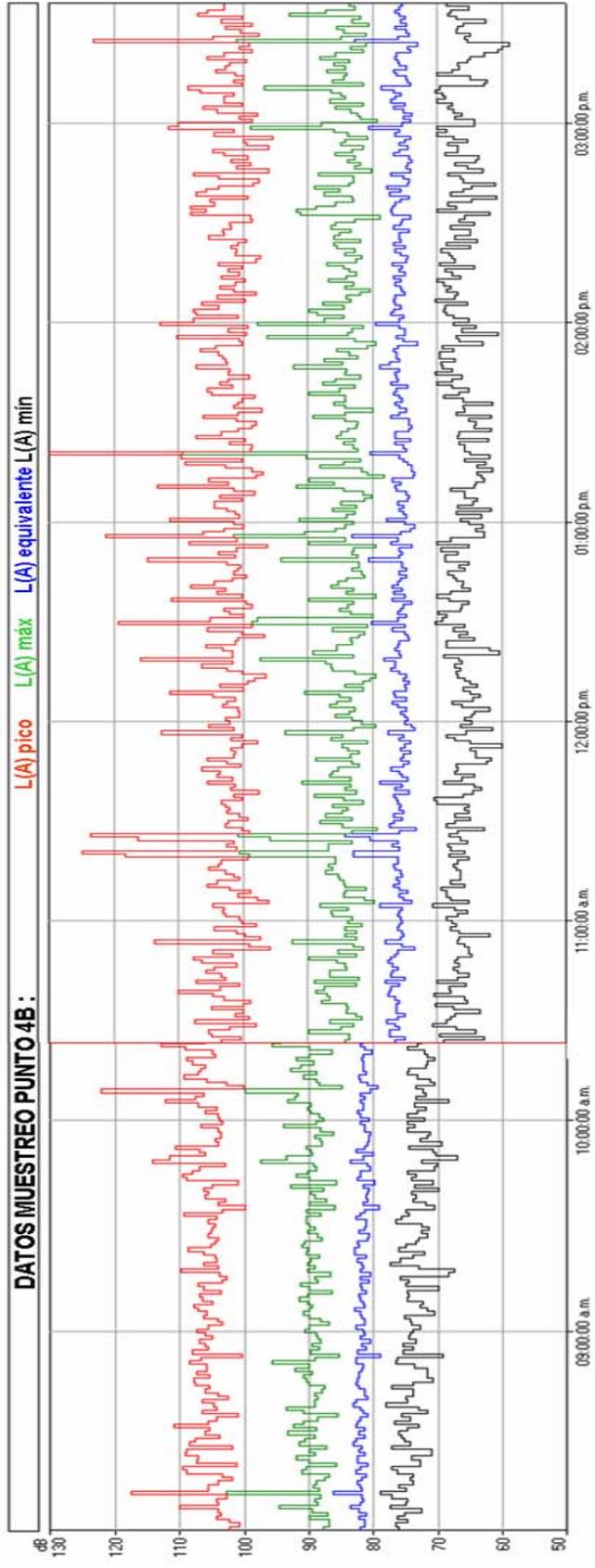


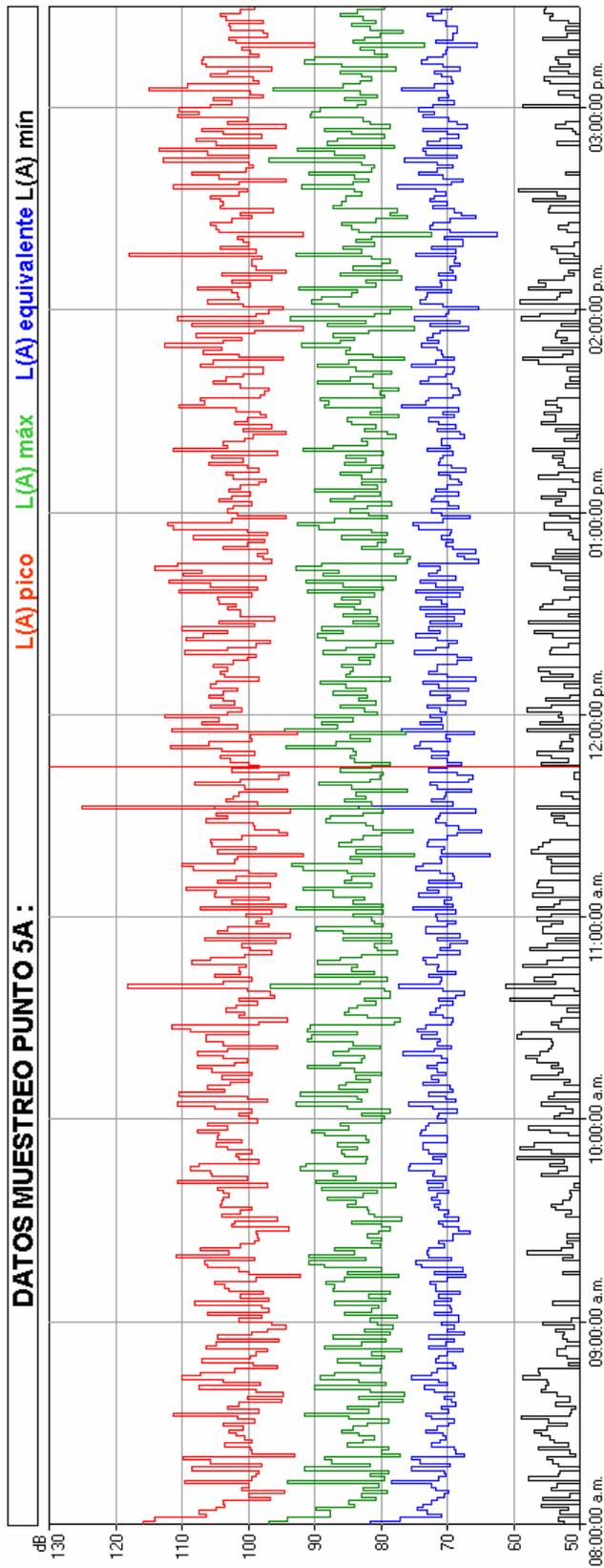


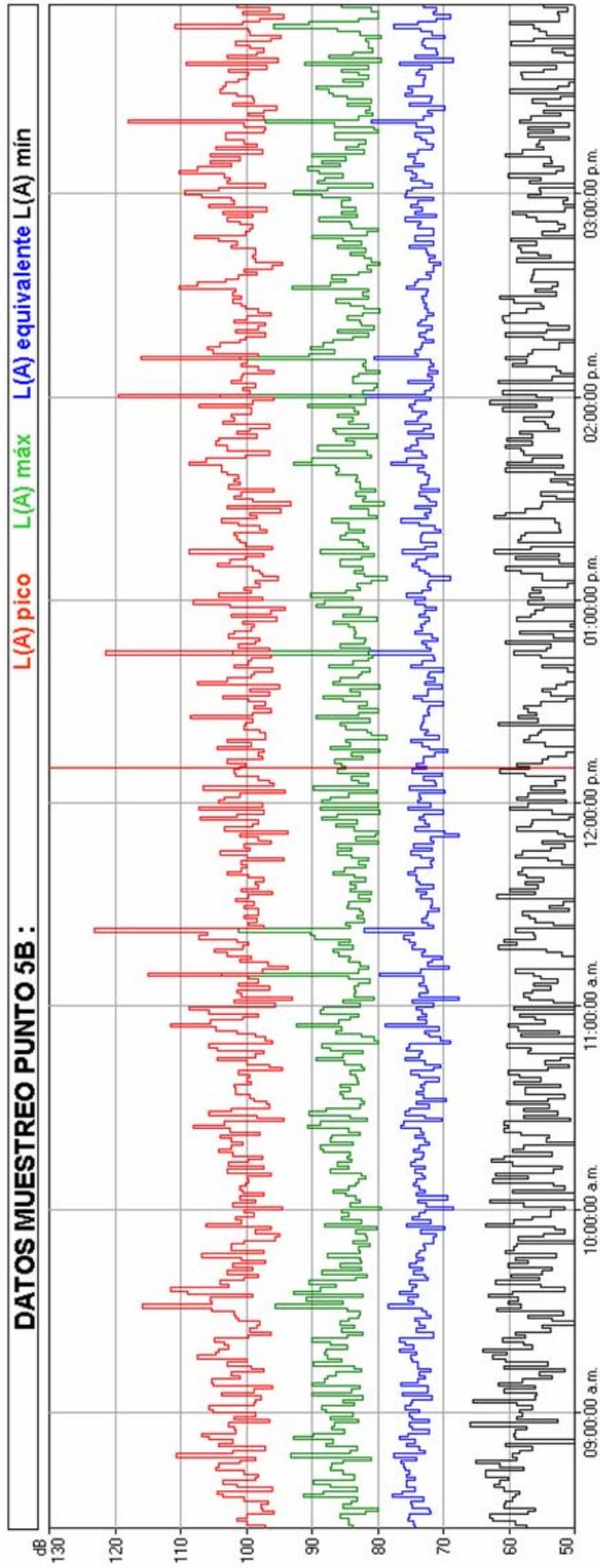














**CIUDAD DE MÉXICO**

Av. Nuevo León 210  
Col. Hipódromo Condesa  
CP 06100, México, D F  
Tel +52 (55) 52 653600  
Fax +52 (55) 52 653600

**SANFANDILA**

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000  
CP 76700, Sanfandila  
Pedro Escobedo, Querétaro, México  
Tel +52 (442) 216 9777  
Fax +52 (442) 216 9671

[www.imt.mx](http://www.imt.mx)  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)