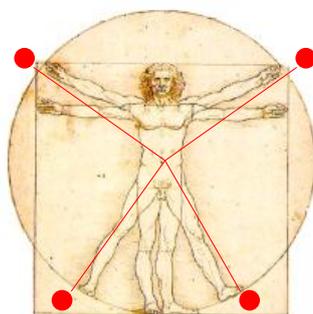


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XIV. AÑO 2016

SEPARATA



MODELOS DE PREVISIÓN DE RUIDO

Alberto Ventoso del Rincón , David Martín Ruiz



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Alberto Ventoso del Rincón, David Martín Ruiz
Febrero, 2016.
<https://www.uax.es/publicacion/modelos-de-prevision-de-ruido.pdf>
© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

MODELOS DE PREVISIÓN DE RUIDO

Alberto Ventoso del Rincón (a), David Martín Ruiz (b)

(a) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Tf: 646 58 09 72 email: avdelrincon@gmail.com

(b) Dr. por la Universidad Alfonso X El Sabio. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Escuela Politécnica Superior. Área de Ingeniería Civil. Tlf: 918105087, email: druizmar@uax.es

RESUMEN:

La contaminación acústica en las ciudades debida al comportamiento y composición del tráfico ha generado un gran interés social que ha motivado la creación de diversas herramientas para poder evaluar el ruido en diferentes escenarios tipo. Los modelos matemáticos existentes de previsión de los niveles acústicos, se ajustan cada uno de ellos a un número limitado de variables definidas por unos criterios específicos, tomando las variables de caudal de tráfico, velocidad, composición, pavimento y pendiente como punto de partida común, a las que se les aplica unas correcciones ajustadas al entorno específico, para poder predecir el ruido que se generaría en una nueva vía de circulación, y su impacto sobre los alrededores.

PALABRAS CLAVE:

Contaminación, ruido, tráfico, modelo, variable.

ABSTRACT:

Noise pollution in the cities due to the performance and composition of traffic has led to great social interest that has caused the creation of several tools to evaluate different types of situations. The existing mathematical models of acoustic levels forecast, fit each of them to a limited number of variables defined by specific criteria, taking variables of traffic flow, speed, composition, pavement and slope as a common starting point, which applies them some corrections adjusted to the specific environment, to be able to predict the noise generated in a new way of circulation, and its impact on the surrounding area.

KEY-WORDS:

Pollution, noise, traffic, model, variable.

SUMARIO: 1. Preambulo, 2. Modelos matemáticos existentes, 3. Comparativa de modelos, 4. Conclusiones, 5. Referencias

SUMMARY: 1. Preamble, 2. Current mathematical modeling, 3. Model comparison, 4. Conclusions, 5. References

1. Preámbulo

El crecimiento demográfico de las ciudades y su impacto sobre la sociedad ha supuesto un incremento en la preocupación sobre la contaminación, tanto atmosférica como acústica, en las principales urbes mundiales.

La contaminación acústica producida, especialmente, por el tráfico es un elemento de deterioro de la calidad de vida para la población que cada día va adquiriendo mayor relevancia por su clara notoriedad, y es la causante de enfermedades físicas y mentales de gran importancia, motivo por el cual, la evolución social y tecnológica ha generado que, con la entrada del siglo XXI, se alumbren las primeras normativas en cuanto al ruido o contaminación acústica.

El interés social sobre este tema generó la necesidad de crear unos modelos de predicción de emisiones para la evaluación y diseño de los proyectos de construcción y urbanismo. La tardía legislación, así como su inexistencia en el ámbito internacional, ha motivado que diversos países presenten un modelo diferente, si bien con bastantes similitudes, y lo adopten como herramienta recomendada, y en algunos casos como obligatoria, de modelo de previsión de ruido.

Este artículo es el primero de tres en los que se propondrá una nueva metodología de implementación de flujos de tráfico en una red vial bajo el criterio de minimizar el impacto de los niveles acústicos.

En este artículo revisaremos los modelos matemáticos de mayor reconocimiento, y haremos una comparativa de sus principales características para luego pasar en posteriores trabajos al planteamiento del nuevo modelo.

2. Modelos matemáticos existentes.

2.1. *Modelo de Francia NMPB-Routes-96.-*

En la actualidad el método de evaluación recomendado según la legislación europea para países miembros sin métodos nacionales o para los que quieren cambiarlo es el método nacional de cálculo francés "NMPB", publicado en el "Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6" y en la norma francesa "XPS 31-133, Ruido de infraestructuras de transporte terrestre – Cálculo de la atenuación de sonido durante la propagación en exteriores, incluyendo efectos meteorológicos". Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten a "Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980".

2.2. *Modelo de Países Nórdicos STATEN PLANVERK 96*

Las características principales que definen el modelo de los países nórdicos son las siguientes:

- Índice utilizado es el $L_{Aeq}(h)$
- Velocidad es una velocidad promedio.
- Distancia de referencia: 10m.
- Altura de referencia: 1.5m.
- El periodo es de 24 horas, pero se puede realizar el cálculo para cualquier periodo.
- Escuela de referencia: carretera.
- Composición de flujo: vehículos livianos y pesados.
- Tipo de fuente: lineal.
- Correcciones: velocidad, intensidad, porcentaje de pesados, ángulo visión, distancia y altura.
- Condiciones por defecto: Asfalto denso, liso, con más de 1 año de antigüedad, con máximo tamaño de lámina de 12-16mm, con temperaturas entre 10° y 20° (variación de 0.1dB/°C)

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.3. *Modelo RLS 90/DIN 18005, Alemania*

En Alemania, el documento llamado Directivas para la Protección de Ruido en las Carreteras (RLS. 90) publicado por el Departamento de Construcción de Carreteras del Ministerio Federal de Transportes, da un método de previsión de los niveles de ruido producidos por la circulación. (Guiloff, 2009) Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es $L_{Aeq}(día)$ y $L_{Aeq}(noche)$
- Velocidad es velocidad máxima.
- Distancia de referencia: 25m.
- Altura de referencia: 4m.

- Los periodos son, para el diurno de 06:00 a 22:00 y el nocturno de 22:00 a 06:00.
- Escuela de referencia: carretera.
- Composición de flujo: vehículos livianos y pesados.
- Tipo de fuente: puntual.
- Correcciones: velocidad, superficie, gradiente y reflexiones.
- Condiciones por defecto: $V_{ligeros}$ 100km/h y $V_{pesados}$ a 80 km/h.
 - Asfalto liso
 - $G < 5\%$

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.4. **Modelo CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise), Inglaterra**

Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es el percentil $L_{10}(1h)$ y $L_{10}(18h)$
- Velocidad es velocidad máxima.
- Distancia de referencia: 10m.
- Altura de referencia: 0.5m.
- Los periodos son, 1 hora (la hora más ruidosa), o 18 h.
- Escuela de referencia: carretera.
- Composición de flujo: vehículos livianos y pesados.
- Tipo de fuente: lineal.
- Correcciones: velocidad, gradiente, flujo, distancia, suelo, visual y superficie.
- Condiciones por defecto: Velocidad asumida de 75km/h.

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.5. **Modelo STL-86, Suiza**

Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es el percentil $L_{Aeq}(1h)$

- Distancia de referencia: 1m.
- Altura de referencia: 1m.
- El periodo es de 1hora.
- Escuela de referencia: carretera.
- Composición de flujo: vehículos livianos y pesados (>2.8 ton).
- Tipo de fuente: lineal.
- Correcciones: pendiente, distancia, ángulo visual, suelo, altura y absorción aire;

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.6. Modelo Federal Highway Administration (FHWA), EEUU

Este modelo de la Administración Federal de Carreteras calcula las contribuciones de los automóviles livianos, camiones medianos y camiones pesados en forma separada, adicionándolos energéticamente en la formulación final. Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es el percentil $L_{Aeq}(1h)$
- Distancia de referencia: 15.2m (50 pies).
- Altura de referencia: 1m.
- El periodo es de 1hora.
- Escuela de referencia: 1 vehículo.
- Composición de flujo: vehículos livianos, medianos (2 ejes, 6 ruedas) y pesados (3 o más ejes).
- Tipo de fuente: lineal.
- Correcciones: pendiente, distancia, ángulo visual y flujo de tráfico.

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.7. Modelo Federal Transit Administration (FTA), EEUU

Este modelo ha sido desarrollado por la Administración Federal de Tránsito, que es una de las 11 administraciones que operan en EEUU del Departamento de Transportes.

Las características de este modelo son similares a las del modelo FHWA, pero además requiere otros datos:

- Índice utilizado es el percentil $L_{Aeq}(h)$ y L_{dn}
- Distancia de referencia: 15.2m (50 pies).
- Velocidad máxima proyectada (mph)
- Altura de referencia: 1m.
- Los periodos son, para el día (7am a 10pm) y para la noche (10pm a 7am).
- Número de vehículos durante los periodos de día y de noche.
- Número de vehículos durante las horas en que los usos de suelo de las categoría 1 o 3 funcionen usualmente.
- Composición de flujo: vehículos livianos, medianos (2 ejes, 6 ruedas) y pesados (3 o más ejes).
- Condiciones de la vía con o sin barrera

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.8. *Modelo Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Chile*

2.8.1. *CONAMA 96*

Este modelo es un “Borrador de Norma de Calidad Acústica de Vivienda”, elaborado por Ambiente Consultores, Ltda. [Álvarez, 2008] Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es el LAeq.
- Flujo de vehículos livianos FVL (hasta 9 pasajeros o menos de 3.500kg).
- Flujo de vehículos pesados FVP (más 9 pasajeros o más de 3.500kg).
- Velocidad máxima autorizada.
- El periodo utilizado es el de día (7 a 21 horas).

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.8.2. *CONAMA 2001*

Se considera como modelo base el método establecido por la “Federal Transit Administration, FTA”. Este método efectúa el análisis tomando como referencia niveles SEL por categoría de vehículos, factibles de calibrar a la realidad del parque nacional. (Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.9. *Modelo de la Ciudad de VALDIVIA, Chile*

Este modelo es una modificación del modelo español desarrollado por Sánchez ajustado a las condiciones de tránsito reinantes en las vías de Chile. Las características de este modelo son las siguientes:

- Índice utilizado es el LAeq.
- Distancia de referencia: 25m.
- Altura de referencia: 1.5m.
- El periodo es de 1 hora.
- Escuela de referencia: 1 vehículo.
- Composición de flujo: vehículos livianos, pesados y autobuses.
- Tipo de fuente: lineal.
- Correcciones: velocidad, superficie y reflexiones.

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

2.10. *Otros modelos*

2.10.1. *Modelo Fagoti, Italia*

El descriptor utilizado por este modelo, es el nivel sonoro continuo equivalente, y se basa en el análisis de regresión. (Álvarez, 2008)

2.10.2. *Modelo Sánchez, España*

El nivel de emisión de referencia LRE se calcula a 25 metros del centro de la calzada, y es el modelo que sirvió como base para el modelo de la ciudad de Valdivia. (Álvarez, 2008)

2.10.3. Modelo González, Uruguay

Este modelo fue desarrollado en la ciudad de Montevideo y se basa en el análisis de regresión para los datos obtenidos en la ciudad. (Álvarez, 2008)

2.10.4. Modelo Universidad Tecnológica Vicente Pérez Rosales, Chile

Este modelo fue desarrollado en una tesis de titulación de dicha universidad, y es una adaptación del modelo alemán RLS 90 a la realidad chilena.

- Las características de este modelo son las siguientes:
- Índice utilizado es el LAeq (1hora)
- Velocidad es velocidad máxima.
- Distancia de referencia: 10m.
- Altura de referencia: 1.5m.
- Escuela de referencia: 1 vehículo.
- Composición de flujo: vehículos livianos, buses y pesados.
- Tipo de fuente: lineal.

(Ambiente Consultores Ltda, 2001)

3. Comparativa de modelos

Todos estos modelos difieren en el grado de análisis y precisión entregados. Tanto la emisión como la inmisión de ruido para los vehículos de tráfico rodado se regulan en normativas diferentes, por lo que cada modelo se ajusta más a las exigencias de la normativa a cumplir, aunque la mayor divergencia entre ellas se encuentra en la regulación de la inmisión de tráfico rodado.

Tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea, se ha tratado de mantener una semejanza en los criterios para la evaluación de tema de inmisión de ruido. Para estos efectos se han designado autoridades federales, “Federal Highway Administration”, o internacionales, “la Comisión de ruido de la UE”, que coordinen el problema. Aunque estas entidades definan los criterios básicos a respetar, son incapaces de imponerse a los organismos locales en estos asuntos.

Modelo	País	Descriptor (dBA)	D _{ref} (m)	H _{ref} (m)	T	Esc.	Flujo	Comp.	Tipo fuente
NMPB-Routes-96	Francia	L _{Aeq} (h)	-	4±0.2 ₍₁₎	06-22 22-06	1 veh	veh/h	L-P	lineal
SP-96	Países Nórdicos	L _{Aeq} (24h)	10	1.5	07-19 19-23 23-07	Carretera	veh/ 24h	L-P	lineal
RLS 90	Alemania	L _{Aeq} (h)	25	4	06-22 22-06	Carretera	veh/h	L-P	puntual
CoRTN	Reino Unido	L ₁₀ (1h) L ₁₀ (18h)	10	0.5	1 h 18h	Carretera	veh/h	L-P	lineal
STL-86	Suiza	L _{Aeq} (h)	1	1	06-22 22-06	Carretera	veh/h	L-P	lineal
FHWA	EEUU	L _{Aeq} (h)	15.2	1	1h	1 veh	veh/h	L-M-P	lineal
FTA	EEUU	L _{Aeq} (h) L _{dn}	15.2	1	07-22 22-07	1 veh	veh/h	L-M-P	lineal
CONAMA	Chile	L _{Aeq} (h)	15.2	1	07-23 23-07	1 veh	veh/h	L-P	lineal
VALDIVIA	Chile	L _{Aeq} (h)	10	1.5	1 h	1 veh.	veh/h	L-P-B	lineal

L : vehículos ligeros; P : vehículos pesados; M : vehículos medianos; B : buses.
₍₁₎ : altura reflejada Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Tabla 1 Comparación características de los principales modelos. (Ventoso, 2009)

El descriptor utilizado por la mayoría de los modelos es el LAeq, el nivel de presión sonora constante expresado en decibelios A, por la amplia disponibilidad de equipos para obtener datos, aunque es complicado definir un indicador universal manejable y fácil de obtener. En el caso del modelo inglés, CoRTN, utiliza el nivel percentil 10, el nivel excedido para el 10% del tiempo, que tiene como inconveniente la limitación para la utilización de determinados equipos.

También es utilizado el nivel equivalente día-tarde-noche, Lden, o el día-noche, Ldn, que son niveles cada vez más considerados, aunque sean poco representativos y no reflejen convincentemente las molestias reales asociadas al ruido.

Modelo	Velocidad	Intensidad	Composición	Superficie	Gradiente	Distancia	Altura	Suelo	Angulo visual	Absorción aire	Reflexiones	Divergencia
NMPB-Routes-96	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
SP-96	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	X
RLS 90	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
CoRTN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X
STL-86	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X
FHWA	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X
FTA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X
CONAMA	X	X	X	-	-	X	X	X	-	X	-	X
VALDIVIA	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X

Tabla 2: Variables consideradas en los diferentes modelos. (Ventoso, 2009)

Tanto la velocidad, como la intensidad del flujo vehicular y su composición, son variables de gran importancia. La velocidad de circulación sería la velocidad media que se puede desarrollar, sin sobrepasar la velocidad máxima permisible, que aporta información suficiente sin necesidad de detallar los tramos.

El flujo de tránsito es el movimiento de los vehículos que se desplazan por una sección dada en un tiempo determinado, cuyo valor promedio se suele considerar el TMDA, o tránsito medio diario anual, que es fácil de obtener para vías principales. En todos los modelos es necesario conocer la intensidad, y en modelos como los norteamericanos o el nórdico SP-90, presentan una corrección por flujo de tráfico.

En cuanto a la composición vehicular, los diferentes modelos los diferencian por sus características, como peso o número de ejes, aunque la clasificación más correcta sería la establecida en el Diccionario de Ingeniería de Caminos, de D. Ignacio Morilla Abad. (Morilla, 1979)

Es corriente encontrar la variable de porcentaje de vehículos pesados, de forma que mediante el factor de equivalencia se pueda simplificar el cálculo. Las diferencias típicas de nivel en tráfico urbano oscilan en torno a 12 dBA, correspondiente a una relación 1:15, es decir, que el ruido ocasionado por un vehículo pesado es comparable al de 15 vehículos ligeros, aunque sería el caso de tráfico urbano, que corresponde al predominio del ruido de motor, que para los vehículos pesados es mucho mayor que el ruido de rodado.

El modelo de la ciudad de Valdivia, incluye en su cálculo la intensidad de autobuses, debido a la elevada proporción en vías urbanas. Otros modelos de menor importancia distinguen una composición mayor, como el modelo Fagoti, donde el tráfico se compone de vehículos ligeros, vehículos medianos, vehículos pesados y autobuses; o el modelo González para la ciudad de Montevideo, donde distingue entre ligeros, pesados, autobuses y motocicletas.

El tipo de superficie se refiere a la capa superior de la calzada que soporta directamente el tránsito, en términos generales, la emisión de ruido neumático/calzada se debe principalmente a la composición de la superficie de rodadura, en que la textura de esta, además de factores relacionados con el neumático, determinan el grado de emisión.

En términos generales no se puede decir cuáles son los parámetros acústicos necesarios para una completa interpretación de las distintas variables asociadas a los modelos estudiados.

Para una comparación de los diferentes modelos presentados sería necesario comparar unas mediciones reales con un escenario tipo, para obtener los factores de desviación y correlación, así como el error.

Modelo	VENTAJAS	INCONVENIENTES
NMPB-Routes-96 (Francia)	Modelo más usado y el recomendado para aquellos países sin modelo propio. (Directiva 2002/49/CE) Modelo más completo y preciso con la consideración de numerosas correcciones. Base de programas informáticos para predicción de ruido	Complejo de operar. Presenta variable más fácil en guía CETUR
Staten Planverk 96 (Países Nórdicos)	Fácil de operar. Distingue los periodos día-tarde-noche	No es tan preciso porque no recoge correcciones importantes. Poca diferencia a velocidades bajas
RLS 90 (Alemania)	Modelo de gran reconocimiento, junto con el modelo francés. Muy completo y fácil de usar, de gran precisión por considerar un gran número de correcciones. Base de modelos gráficos como SoundPlan	Penaliza excesivamente a los vehículos pesados
CoRTN (Inglaterra)	Fácil de operar, bastante preciso por la gran variedad de correcciones	Indicador utilizado, es el percentil 10, que limita su uso. Presenta una gran dependencia a la velocidad

STL-86 (Suiza)	Sencillo de operar y entender, con gran precisión por las diferentes correcciones	Modelo antiguo, poca utilidad para otros países
FHWA (EEUU)	De fácil manejo, gran número de correcciones y más preciso en descomposición del tráfico	No distingue diferentes periodos durante todo el día
FTA (EEUU)	Más concreto que el FHWA ya que presenta mayor número de correcciones, pero de igual facilidad de manejo. Base para otros modelos	Utiliza el nivel de exposición sonora (SEL) para el cálculo del indicador
CONAMA (Chile)	De fácil manejo, toma otros modelos como base, mejorando ciertos aspectos. Descomposición del tráfico en ligeros, medianos y pesados	Varias versiones diferentes hace cuestionable su precisión
VALDIVIA (Chile)	Muy completo, de gran precisión, con descomposición del tráfico en ligeros, medianos, pesados y autobuses	Fue diseñado para la ciudad de Valdivia, con lo que pierde precisión para el tráfico en carretera.

Tabla 3: Variables consideradas en los diferentes modelos. (Ventoso, 2009)

4. Conclusiones

Los diferentes modelos de previsión de ruido presentados son herramientas enfocadas a un objetivo determinado. Están obtenidos conforme al análisis de unos datos particulares, no obstante, cumplen perfectamente con el propósito previsto ya que dan unos resultados bastante precisos.

Como hemos visto en la comparativa, a pesar de sus diferencias, lo que consideramos de mayor relevancia son las similitudes que hay en el análisis de variables. La definición de los modelos parte de unos criterios básicos comunes y se van desarrollando conforme a las particularidades o diferentes interpretaciones que toman para alcanzar el modelo que más se ajuste a sus objetivos principales.

Las variables que se deben considerar para cualquier modelo de contaminación acústica producida por el tráfico son aquellas derivadas de los siguientes cuatro grupos:

- Tráfico. El tráfico es la fuente de emisión de los niveles acústicos y representa las variables a eliminar para cumplir con los límites de restricción marcados.
- Geometría de la vía. Es el conjunto de variables que afectan directamente al emisor.
- Entorno. Son el conjunto de variables que afectan a la propagación del ruido.

- Variables acústicas, son las unidades de medida para la evaluación de los niveles de contaminación acústica y representan el elemento de restricción para las diferentes fuentes de emisión.

5. Referencias.

Bibliografía

- Ambiente Consultores, CONAMA. Elaboración de Propuesta de Normativa para la Regulación de Contaminación Acústica generada por carreteras y Autopistas. Diciembre 2001
- Gonzalo GuiloffB.; Roland Klepel. Informe técnico: Plan de mediciones de ruido COSAC. PROTRANSPORTE. Enero 2009
- Ignacio Morilla Abad. Diccionario de ingeniería de Caminos. 1 de mayo de 1979.
- Álvarez Rodenbeek, Juan P. y Enrique A. Suárez Silva FIA 2008. Estudio comparativo de modelos de predicción de ruido de tráfico rodado utilizando mediciones en la ciudad de Osorno. Noviembre 2008
- Ventoso del Rincón, Alberto. Trabajo fin de máster. Universidad Alfonso X El Sabio. Octubre 2009