

ELECCIÓN DE UN MODELO DE RUIDO DE TRÁNSITO VEHICULAR PARA CHILE.

PACS: 43.50.Rq

Bastián Monarca; Nicolás ¹; Álvarez Rodenbeek; Juan Pablo ²; Suárez Silva; Enrique ³; Báez Montenegro; Andrea⁴

¹ Departamento Comercial, Área Comercial
Silentium, Ingeniería del Silencio
José Ananías 207 A, Santiago, Chile
Tel. +56 2 24489820

E-mail: nbastian@silentium.cl

² Departamento de Proyectos, Área Proyectos
Acústica Austral, Medio Ambiente
Diego Portales 860, Puerto Montt, Chile
Tel. +56 65 2395990

E-mail: jpalvarez@acusticaustral.cl

³ Instituto de Acústica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Austral de Chile (UACH)
Campus Miraflores, Valdivia, Chile
Tel. +56 63 2221339

E-mail: enriquesuarez@uach.cl

⁴ Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Universidad Austral de Chile (UACH)
Campus Teja, Valdivia, Chile
Tel. +56 63 2293227

E-mail: abaez@uach.cl

ABSTRACT

A comparative analysis of predictive traffic noise models is presented. Noise mapping data conducted in nine cities of Chile, including Santiago, are considered. The approach used includes field measurements and modeled data. This allowed us to determine what model might suit best to the characteristics of the country.

RESUMEN

Se realiza un análisis comparativo del comportamiento de algunos modelos predictivos de ruido de tránsito vehicular. Se utilizan datos de mapas de ruido realizados en nueve ciudades de Chile, incluyendo el Gran Santiago (capital). La discusión se basa en mediciones en terreno y datos modelados, permitiendo analizar qué modelo se adapta de mejor manera a las características del país.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de modelos de ruido de tránsito vehicular se ha convertido en una herramienta fundamental para evaluar los niveles de ruido de ciudades en Chile. El Ministerio del Medio Ambiente en Chile ha desarrollado una línea de trabajo que apunta a obtener mapas de ruido de las capitales regionales mediante software de modelamiento, considerando al tránsito vehicular como su principal fuente de ruido. Hasta ahora, se han desarrollado trabajos con modelos de ruido de tránsito vehicular en Antofagasta y Providencia [1], Santiago [2], en el Gran Santiago

(Capital de Chile) [3], Temuco, Padre Las Casas, Coquimbo, La Serena y Valdivia [4][5] y Osorno [5][6]. Las ciudades estudiadas difieren entre sí, en su ubicación geográfica, cantidad de habitantes, entre otras

Es importante destacar que Chile es el tercer país de América Latina con mayor número de vehículos por habitante. Además, en el mercado nacional es muy heterogéneo: hay 65 marcas de vehículos livianos, 28 de vehículos pesados, y 20 de buses. Esta cantidad de marcas y modelos, unido con la diversidad del estado de los caminos y los hábitos del conductor, hacen que el flujo vehicular sea muy particular de caracterizar. Por esta razón, antes de iniciar estudios en el desarrollo de un modelo de predicción de ruido de tránsito propio, parece razonable estudiar modelos extranjeros y conocer su comportamiento en Chile. Este conocimiento podrá impulsar el desarrollo de un modelo propio, adaptado a las características locales. Los modelos de predicción de ruido analizados, corresponden a aquellos que han tenido un buen comportamiento en estudios previos.

La búsqueda de un modelo de predicción de ruido de tránsito que se comporte adecuadamente en Chile, tiene una mirada muy práctica y directa, y permitirá avanzar en mejores estudios de ruido ambiental, mientras se desarrollan estudios más detallados en pro de un modelo propio.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en cada ciudad y/o comuna para realizar el levantamiento de información necesaria para alimentar a los modelos fue muy similar, en cuanto a los tiempos de muestreo (15 minutos), en días laborales (lunes a viernes) y, además contemplaron la segregación de la composición del parque automotriz en vehículos livianos, pesados y motos. El muestreo fue realizado bajo las condiciones descritas en la norma ISO 1996-2:2007 [7]. Además, se escogieron los puntos de medición ubicados en distintos tipos de vías sin gradientes superiores a 5%.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de la metodología empleada en cada comuna o ciudad.

Tabla 1. Resumen metodología empleada en cada comuna o ciudad.

Ciudad o Comuna	Cantidad mediciones	Duración mediciones (min)	Horario valle considerado	Horario punta considerado
Antofagasta	102	15	9:00-18:00 20:00-21:00	7:00-9:00 18:00-20:00
Providencia	96	15	9:00-18:00 20:00-21:00	7:00-9:00 18:00-20:00
Gran Santiago	305	15	9:00-18:00 20:00-21:00	7:00-9:00 18:00-20:00
Temuco y Padre Las Casas	102	15	9:00-12:30 14:00-18:00 19:30-21:00	-
Coquimbo y La Serena	114	15	9:00-12:30 14:00-18:00 19:30-21:00	-
Valdivia	100	15	9:00-12:30 14:00-18:00 19:30-21:00	7:30-9:00 12:30-14:00 18:00-19:30
Osorno	92	15	9:30-12:30 15:30-19:00	-

3. MODELOS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁNSITO VEHICULAR

Existe una gran variedad de modelos de predicción de ruido de tránsito vehicular, que se caracterizan por utilizar distintas ecuaciones y variables para estimar los niveles de ruido en base a datos de flujo vehicular, velocidades de vehículos, entre otros. En el año 2001 Steele hizo un análisis comparativo entre los principales modelos de ruido de tránsito vehicular [8] y estudios

recientes han realizado una actualización del trabajo de Steele, pero incorporando modelos más modernos [9].

Dentro de los principales modelos de ruido de tránsito vehicular, se pueden destacar el modelo Norteamericano FHWA [10], el modelo Inglés CoRTN [11], el modelo Alemán RLS-90 [12], el modelo Japonés ASJ RTN-Model 2008 [13], el modelo de la Unión Europea HARMONOISE [14], los modelos Suizos SON ROAD [15], STL-86+ [16] y EMPA 97 [17], los modelos de Países Nórdicos STATENS PLANVERK 48 [18], STATENS PLANVERK 96 (desde ahora SP-96) [18] y NORD 2000 [19], el modelo francés NMPB-Routes-2008 [20] y el modelo Europeo CNOSSOS-EU [21].

Por otra parte, los modelos de predicción de ruido de tránsito vehicular se componen principalmente por dos etapas, una etapa de emisión y otra etapa de propagación. En este trabajo, se optó en abordar sólo la etapa de emisión debido a la cercanía de las mediciones respecto del flujo vehicular

Además, la elección final de los modelos a estudiar priorizó que la información necesaria para alimentar al modelo fuese simple, reducida y de fácil obtención durante las campañas de terreno, eliminando también a los modelos que trabajan con niveles de ruido por bandas.

Debido a lo anterior, los modelos elegidos para utilizar y comparar fueron el modelo Alemán RLS-90 (que ha dado buenos resultados en estudios previos en la ciudad de Santiago de Chile [22][23]), el modelo Suizo STL-86+ y el modelo de Países Nórdicos SP-96, que ambos han dado buenos resultados en ciudades del sur de Chile [5].

3.1. Modelo Alemán RLS-90

El nivel de emisión que se predice es un nivel de presión sonora de referencia, llamado LME (Level Mean Emission) y se obtiene aplicando todas las correcciones al nivel básico referido a una distancia de 25 metros desde el centro de la vía completa y medida a 4 metros de altura. Además el método asume una carretera con dos carriles, cada cual recibe la mitad del volumen de tráfico y trabaja con una fuente lineal ubicada en la mitad de los dos carriles a 0,5 metros de altura [12]. Las características del modelo de emisión en su formato sencillo son:

$$LME = L_{25} + C_{vel} + C_{pav} + C_{gradiente}$$

$$L_{25} = 37,3 + 10 \log[Q(1 + 0,082P)]$$

Donde:

L_{25} es el nivel sonoro base a 25 metros en dBA.

Q es la densidad de tránsito vehicular (Vehículos por hora).

P es el porcentaje de vehículos pesados (en %).

Por otra parte, el término de corrección para una velocidad distinta a la asumida por defecto (100 Km/h para ligeros y 80 km/h para pesados), es el siguiente:

$$C_{vel} = L_{ligeros} - 37,3 + 10 \log \left[\frac{100 + (10^{0,1C})P}{100 + 8,23P} \right]$$

Donde:

$$L_{ligeros} = 27,8 + 10 \left[1 + (0,02V_{ligeros})^3 \right]$$

$$L_{pesados} = 23,1 + 12,5 \log(V_{pesados})$$

$$C = L_{pesados} - L_{ligeros}$$

Donde:

$V_{ligeros}$ es la velocidad máxima permitida de vehículos livianos en el rango de 30 – 130 km/h.

$V_{pesados}$ es la velocidad máxima permitida de vehículos pesados en el rango de 30 – 80 km/h.

Además, el término de corrección por el tipo de carpeta de rodado C_{pav} , que genera un aumento o una disminución en el nivel de emisión, se muestra en la Tabla 2 y el término de corrección por gradiente está dado por:

$$C_{gradiente} = (0,6G) - 3, \text{ si } G > 5$$

$$C_{gradiente} = 0, \text{ si } G < 5$$

Donde G es la pendiente del camino en %.

Tabla 2. Correcciones según tipo de carpeta modelo RLS-90. Fuente: [12]

Tipo de superficie	Máxima velocidad permitida en Km/h			
	30	40	>50	>60
Asfalto no ranurado	0	0	0	0
Concreto o asfalto rasurado	1	1,5	2	2
Superficie pedregosa con textura lisa	2	2,5	3	3
Superficie pedregosa con estructura rugosa	3	4,5	6	6
Hormigón con tratamiento escoba metal	1	1	1	1
Asfalto hormigón sin grietas	0	0	0	-2
Asfalto poroso con más de 15% de poros tipo 0/11	0	0	0	-4
Asfalto poroso con más de 15% de poros tipo 0/8	0	0	0	-5

3.2. Modelo de Países Nórdicos SP-96

Este método es una actualización del modelo STATENS PLANVERK 48 [18]. El descriptor es el nivel sonoro continuo equivalente LA_{eq} (dBA), evaluado para un periodo de 24 horas a una distancia de referencia de 10 metros y una altura de 1,5 metros.

$$LA_{eq} = 10 \log \left[10^{\frac{LA_{eq,10m}(ligeros)}{10}} + 10^{\frac{LA_{eq,10m}(pesados)}{10}} \right]$$

Donde:

$$LA_{eq,10m}(pesados) = LA_{AE,10m}(pesados) + 10 \log \left(\frac{Q_p}{T} \right)$$

$$LA_{eq,10m}(livianos) = LA_{AE,10m}(livianos) + 10 \log \left(\frac{Q_l}{T} \right)$$

$$LA_{AE,10m}(pesados) = 81 + 30 \log \left(\frac{V_p}{50} \right), \text{ para } 50 \text{ km/h} \leq V_p \leq 90 \text{ km/h}$$

$$LA_{AE,10m}(pesados) = 81, \text{ para } V_p < 50 \text{ km/h}$$

$$LA_{AE,10m}(ligeros) = 73,5 + 20 \log \left(\frac{V_l}{50} \right), \text{ para } V_l \geq 40 \text{ km/h}$$

$$LA_{AE,10m}(ligeros) = 71, \text{ para } V_l < 40 \text{ km/h}$$

Siendo Q_l y Q_p el número de vehículos ligeros y pesados, respectivamente, durante el intervalo de tiempo T , en segundos.

3.3. Modelo Suizo STL-86+

La oficina federal del medio ambiente (FOEN) publicó el modelo STL-86 en 1997 [24]. Teniendo en cuenta una base de datos obtenido durante los ochenta, el método fue actualizado por la EMPA en 1995 y se transformó en el STL-86+ [16]. El nivel de emisión en dBA a una distancia de referencia de 1 metro y una altura de referencia de 1 metro está dado por [25]:

$$L_w = A + 10 \log \left[\left(1 + \left(\frac{v}{50} \right)^3 \right) \cdot \left(1 + B \cdot \varepsilon \cdot \left(1 - \frac{v}{150} \right) \right) \right] + 10 \log(N) + Coor$$

Donde $A=43$ y $B=20$ son dos constantes empíricas, v es la velocidad media de todo el flujo vehicular, ε es la razón entre el número de vehículos pesados y la cantidad total de vehículos, N es el flujo total de vehículos por hora y $Coor$ es una corrección dependiendo del tipo de carpeta y la pendiente de la carretera.

3.4. Consideraciones y Factor de Corrección

Para realizar una comparación entre los niveles proyectados y medidos, se debe hacer una corrección asociada a la distancia y altura de referencia de los modelos, ya que los tres modelos entregan valores de emisión para distancias y alturas de referencia diferentes a las distancias y alturas utilizadas en terreno. Por lo anterior, se optó en utilizar un factor de atenuación basado en la atenuación por distancia de una fuente lineal sobre una superficie reflectante (divergencia cilíndrica) [26][27] y en el teorema de Pitágoras. El factor de corrección utilizado está dado por la siguiente ecuación [5]:

$$Factor\ de\ corrección = 10 \log \left(\sqrt{\frac{d_{fr}^2 + (h_r - h_f)^2}{d_{ref}^2 + (h_{ref} - h_f)^2}} \right)$$

Donde:

d_{fr} es la distancia de la fuente al receptor (donde se realizó la medición), d_{ref} es la distancia de referencia de los modelos, h_r es la altura donde se quiere evaluar el nivel (donde se realizó la medición), h_{ref} es la altura de referencia de los modelos y h_f es la altura de la fuente (todo en metros).

Por otra parte, los modelos utilizados se ajustaron para que pudieran incorporar las características locales de las superficies de rodado y clasificación del tipo de vehículo. Además, se ha supuesto que el flujo vehicular de una hora es cuatro veces el flujo de 15 minutos.

4. RESULTADOS

Teniendo en cuenta la cantidad de ciudades y/o comunas estudiadas, se optó en mostrar los resultados globales obtenidos de forma gráfica. En la Figura 1 se muestra los diferentes diagramas de cajas para los distintos modelos y en la Figura 2 se presenta los diagramas de dispersión y las estimaciones de regresión, tomando como variable dependiente el nivel medido y como variable independiente los niveles proyectados por cada modelo.

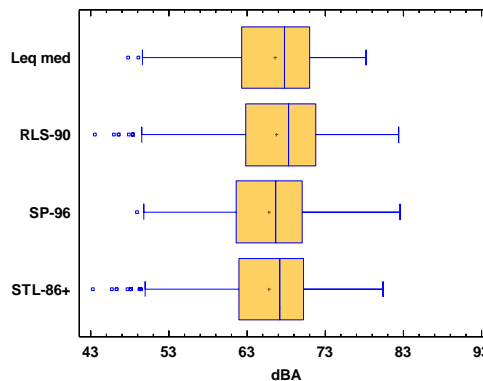


Figura 1. Diagrama de cajas y bigotes de los resultados globales de todas las ciudades y/o comunas para los distintos modelos.

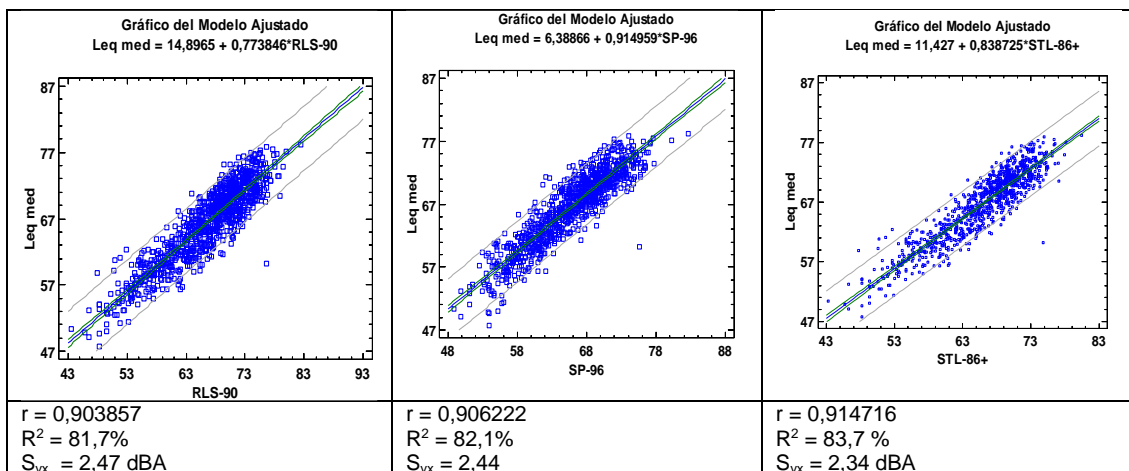


Figura 2. Curva de dispersión de los resultados globales de todas las ciudades entre los niveles proyectados y observados para los distintos modelos.

Por otra parte, en la Tabla 3, se muestra un resumen de los datos obtenidos para cada ciudad y/o comuna y el resultado global de todos los estudios.

Tabla 3. Resumen resultados obtenidos en cada comuna o ciudad.

Ciudad o Comuna	Modelo	Prom. Error Absoluto (dB(A))	Desv. Estándar (dB(A))	% Puntos < 1 dB(A)	% Puntos < 3 dB(A)	% Puntos Sobre-estimados	% Puntos Sub-estimados	Coefficiente R Pearson
Antofagasta	RLS-90	2,56	4,74	28,4	62,7	82,4	17,6	0,88
	SP-96	1,40	4,22	38,2	92,2	56,9	43,1	0,92
	STL-86+	1,74	4,40	29,4	86,3	58,8	41,2	0,90
Providencia	RLS-90	1,64	5,07	37,5	84,4	37,5	62,5	0,92
	SP-96	1,75	4,79	36,5	80,2	45,8	54,2	0,90
	STL-86+	1,80	4,80	31,3	78,1	28,1	71,9	0,92
Gran Santiago	RLS-90	2,08	7,21	29,5	73,8	36,7	63,3	0,95
	SP-96	2,24	6,56	27,5	71,8	32,8	67,2	0,92
	STL-86+	2,32	6,78	23,0	69,5	21,3	78,7	0,95
Temuco y Padre Las Casas	RLS-90	2,94	8,04	18,6	59,8	59,8	40,2	0,91
	SP-96	2,15	5,54	25,5	69,6	37,3	62,7	0,94
	STL-86+	2,41	7,51	21,6	66,7	49,0	51,0	0,92
Coquimbo y La Serena	RLS-90	2,55	6,91	26,3	68,4	44,7	55,3	0,86
	SP-96	2,23	5,24	33,3	72,8	28,1	71,9	0,86
	STL-86+	2,53	6,45	21,9	71,1	33,3	66,7	0,87
Valdivia	RLS-90	2,25	6,57	28,0	72,0	47,0	53,0	0,90
	SP-96	2,62	4,29	23,0	56,0	27,0	73,0	0,93
	STL-86+	2,24	6,09	30,0	70,0	29,0	71,0	0,91
Osorno	RLS-90	2,50	4,15	17,4	42,4	94,6	5,4	0,88
	SP-96	0,95	3,26	57,6	97,8	52,2	47,8	0,93
	STL-86+	1,40	3,73	44,6	94,6	39,1	60,9	0,90
Global	RLS-90	2,30	6,75	27,8	70,3	51,3	48,7	0,90
	SP-96	2,04	5,72	31,2	75,1	38,4	61,6	0,91
	STL-86+	2,14	6,30	26,7	74,5	35,9	64,1	0,91

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Analizando la Figura 1 se aprecia la similitud de la dispersión de los tres modelos y los niveles medidos, salvo algunos puntos outliers que llevan a la media hacia la izquierda. Por otra parte, en la Figura 2 se observa que los tres modelos presentan coeficiente de regresión altamente significativos, con errores estándar de medición similares variando entre 2,34 y 2,47 dBA. En relación al grado de explicación de cada modelo sobre el valor medido, el STL-86 alcanza un 83,7% de explicación, seguido por el SP-96 con un 82,1% y luego el RLS-90 con un 81,7%.

Respecto a la Tabla 3, se concluye que los tres modelos presentan coeficientes R Pearson muy similares, acercándose a una correlación positiva perfecta (valores muy cercanos a $R=1$). Además, respecto a la sobreestimación de niveles, el RLS-90 alcanza un 51,3%, seguido del SP-96 con un 38,4% y finalmente el STL-86+ con un 35,9%. Esto último resulta fundamental, desde el punto de vista de ingeniería, debido a la posibilidad de trabajar con un margen de seguridad, por ejemplo al momento de diseñar una medida de control.

6. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis comparativo entre distintos modelos de ruido de tránsito vehicular y niveles de ruido medidos en distintas ciudades y comunas de Chile, estudiando 911 muestras.

De los resultados obtenidos, se aprecia que los tres modelos estudiados, RLS-90, SP-96 y STL-86+, presentan resultados muy similares, siendo el modelo STL-86+ el que entrega un mayor grado de explicación, lo que implica un menor error de estimación.

Por otra parte, las diferencia entre los errores que presenta cada modelo es poco significativa, considerando que varían entre 2,34 y 2,47 dBA. Por lo anterior, es importante considerar otras variables para seleccionar un modelo de ruido de tránsito para Chile. En este sentido, el modelo RLS-90 alcanza un mayor porcentaje de sobreestimación de niveles de ruido, siendo un factor a considerar para aplicaciones de ingeniería.

Además, se concluye que los tres modelos estudiados son válidos para hacer estudios en Chile, considerando un error promedio entre los niveles proyectados y reales de 3 dBA, lo cual es un margen razonable para el nivel de información con que se han trabajado en los modelos.

En virtud de los análisis realizados, un modelo de predicción de ruido de tránsito vehicular que entrega mejores estimaciones en las ciudades chilenas, es el modelo RLS-90

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se podría haber realizado sin la ayuda del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, ya que facilitaron todos los datos de los estudios de ruido que se han elaborado en Chile.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Elaboración de Mapas de Ruido mediante Software de Modelación, para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) (Contrato N° 01-059/09). Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile (2009).
- [2] Ministerio del Medio Ambiente MMA. Elaboración de Mapa de Ruido Comuna De Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 1588-67-LE10. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile (2010).
- [3] Ministerio del Medio Ambiente MMA. Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 608897-12-LE11. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile (2011).
- [4] Ministerio del Medio Ambiente MMA. Elaboración y Análisis de Mapas de Ruido de tres Conurbaciones Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 608897-LP12. Proyecto en ejecución por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile; 2013-2015.
- [5] Bastián, N.; Álvarez, J.P.; Moreno, F. Evaluación de Modelos de Predicción de Ruido de Tránsito Vehicular en Ciudades Pequeñas: Casos Ciudad de Valdivia y Osorno. IX Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2014. Valdivia, Chile (2014).

- [6] Álvarez, J.; Suárez, E. Estudio Comparativo de Modelos de Predicción de Ruido de Tráfico Rodado Utilizando Mediciones en la Ciudad de Osorno. VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2008. Buenos Aires, Argentina; 2008
- [7] International Organization for Standardization. International Standard ISO 1996-2: 2007, *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. International Organization for Standardization; 2007, Switzerland.
- [8] Steele, C. A critical review of some traffic noise prediction models. *Applied Acoustics*. Volume 62, 2001, Pages 271-287 (2001).
- [9] Garg, N.; Maji, S. A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. *Environmental Impact Assessment Review*. Volume 46, 2 March 2014, Pages 68-81 (2014).
- [10] Barry, T.M.; Reagan, J.A. FHWA highway traffic noise prediction modelo, FHWA-RD-77-108. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Research, Office of Environmental Policy Washington, DC: US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Research, Office of Environmental Policy (1978).
- [11] Department of Transport. Calculation of road traffic noise. Department of Transport, Welsh Office, HMSOU.K: Department of Transport, Welsh Office, HMSO (1998).
- [12] Der Bundesminister Für Verkehr. Abteilung StraBenbau. Richtlinien für den Lärmschutz an StraBen RLS-90. Ausgabe (1990).
- [13] Yamamoto, K. Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2008": report of research committee on road traffic noise. *Acoust Sci Technol* 2010;31:1-55 (2010).
- [14] Watts, G. Harmonoise prediction model for road traffic noise, PPR 034 (2005).
- [15] Heutschi, K. Son Road: New Swiss road traffic noise model. *Acta Acust United Acust* 2004;90:548-54 (2004).
- [16] INFORMATIONS CONCERNANT L'ORDONNANCE SUR LA PROTECTION CONTRE LE BRUIT (OPB) N°6 – Bruit du trafic routier: Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier, in *L'environnement pratique*. 1995, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP, 1995).
- [17] Heutschi, K. SonRoad. Modèle de calcul du trafic routier. 2004, Office federal de l'environnement, des forêts et du paysage. P. 74. (2004)
- [18] Cárdenas, J. Diseño y Desarrollo de una Herramienta Informática Simple para la Predicción de Ruido de Tráfico Vehicular en Vías Urbanas de la Ciudad de Valdivia-Chile. Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al grado de doctor en acústica, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España (2004).
- [19] Kragh, J.; Svein, A.; Jonasson, H.G. Nordic environmental noise prediction methods. Nord 2000, summary report. Denmark: DELTA (2002).
- [20] Dutilleul, G.; Defrance, J.; Ecotiére, D.; Gauvreau, B.; Bérengier, M.; Besnard, F, et al. NMPB-Routes 2008: the revision of the French method for road traffic noise prediction. *Acta Acust United Acust* 2010;96:1-11 (2010).
- [21] Kephelopoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F. Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU); 2012;1-180.
- [22] Suárez, E.; Barros, J.L. Traffic Noise Mapping of the City of Santiago de Chile. *Science of the Total Environment*. Volumes 466-467, 1 January 2014, Pages 539-546 (2014).
- [23] Dintrans, A.; Préndez, M. A method of assessing measures to reduce road traffic noise: A case study in Santiago, Chile. *Applied Acoustics* 2013;74:1486-1491 (2013).
- [24] EMPA. Modèle de calcul de bruit du trafic routier pour ordinateur – Les cahiers de l'environnement n°60. 1987, Office fédéral de la protection de l'environnement (1987).
- [25] Aballea, F.E.; Rene, P.F. Uodate of the Swiss Source Model for Road Traffic Noise. The Sixteenth International Congress on Sound and Vibration ICSV 16, Kraków, Poland (2009).
- [26] Gerges, S.N.Y.; Arenas, J.P. Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones, 2da Ed., NR Editora, Florianópolis (2010).
- [27] Möser, M.; Barros, J.L. Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones. 2da Ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009).