

## **Estudio comparativo para modelos predictivos del ruido de tráfico rodado, a través de mediciones in situ en un sector de la ciudad de Osorno.**

**Comparison of predictive models of road traffic noise, through measurements in the city of Osorno.**

Juan Pablo Álvarez Rodenbeek<sup>1</sup>, Enrique Suárez Silva.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Egresado de Ingeniería Civil Acústica. E-mail: acusticajp@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Instituto de Ingeniería Civil Acústica. E-mail: enriquesuarez@uach.cl

### RESUMEN

El progresivo aumento del parque automotriz en las ciudades de Chile conlleva una creciente alza en los índices de ruido. Así, el tráfico rodado llega a constituir la principal fuente de contaminación acústica en las ciudades del país. La predicción del ruido de tráfico permite obtener datos que deben considerarse en la planificación de las redes viales, sin embargo, la gran cantidad de variables que intervienen en esta predicción requiere que los modelos predictivos sean probados y calibrados para las realidades locales con el fin de que los valores obtenidos sean confiables. En este estudio se presentan resultados de dos metodologías, una referida a modelos matemáticos simples de predicción de ruido de tráfico, originados en diversos estudios, y otra referida a software de modelación acústica en exteriores, que poseen los estándares internacionales para evaluar el ruido generado por el tránsito vehicular. Estos resultados se contrastan con mediciones in situ en la ciudad de Osorno, ubicada en la región de Los Lagos en el sur de Chile. Este análisis permite establecer el o los modelos predictivo de mejor desempeño, a través de una validación con mediciones en vías estudiadas dentro de la misma ciudad, de acuerdo a las características locales y su parque automotriz.

*Palabras clave:* ruido, tráfico, software de modelación acústica, modelos de predicción de ruido, contaminación acústica, Cadna/A.

## ABSTRACT

The progressive increase of the number of cars in different cities of Chile entails an increase of noise range. This way, the road traffic constitutes the main source of noise pollution in the cities of the country. The traffic noise prediction allows obtaining the data that must be considered in the planning of road networks, however, the great amount of variables that take part in this prediction requires the predictive models to be tested and calibrated for each local reality, in order to obtain reliable results. This study presents results of two different methodology, one refer to simple mathematic predictive models of traffic noise and other refer to software for prediction of environmental noise, to have the international standards to evaluate the traffic noise. These results are compared with the measures obtained from Osorno city, located in Los Lagos region in the south of Chile. This analysis allows us to establish the best evaluated predictive model, through a validation done with measurements on studied roads in the same city, according to the local characteristics and the number of cars.

*Key Words:* noise, traffic, acoustic modeling software, noise prediction models, noise pollution, Cadna/A.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se comparan diferentes estándares de predicción de ruido de tráfico vehicular a través de modelos matemáticos simples con mediciones realizadas en las principales vías de la ciudad de Osorno. Un modelo de ruido de tráfico se integra de un modelo de emisión o fuente y un modelo de propagación, en este trabajo sólo se considera el modelo de emisión para la comparación, además de correcciones de distinta índole, en los casos que fuese necesario. A esto se suma una comparación con el programa computacional de predicción de ruido en exteriores Cadna/A Noise Mapping para establecer diferencias, si existiesen, entre mediciones realizadas en terreno y los resultados que el programa entrega. Con toda esta información se establece el modelo con mejor desempeño según las condiciones de medición utilizadas y las características de la ciudad. Además se procede a realizar un análisis comparativo entre los modelos de predicción, de los cuales se tiene la información necesaria para el modelo matemático simple, en la etapa de emisión y que lo incorpora el software Cadna/A, esto con el propósito de analizar la influencia de los parámetros relacionados con el medio donde se propaga el sonido para una distancia cercana a la fuente (vía).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. MODELOS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO

Estos modelos de previsión que están conformados por ecuaciones matemáticas sencillas se elaboran a partir de la integración de dos modelos, el modelo de fuente y el modelo de propagación.

A continuación se describe la etapa de emisión o modelo de fuente de cada método que busca describir la generación del ruido desde la fuente móvil a partir de dos escuelas distintas. La primera Escuela de Referencia 1 Vehículo intenta comprender la emisión acústica de un solo vehículo en la vía, y a partir de esto, explicar el fenómeno de emisión del conjunto del tráfico. Entre los modelos elaborados a partir de la Escuela 1 Vehículo está el de la FHWA y el CERTU.

La segunda Escuela de Referencia Carretera considera a la vía como una fuente lineal de ruido donde cada vehículo emite energía con un desfase aleatorio. Para ello asigna una potencia acústica por unidad de longitud de la vía, bien directamente o bien estableciendo un nivel base a la distancia de referencia en función de las variables de la circulación y de la vía, tales como la densidad, velocidad y composición del tráfico, naturaleza y pendiente de la vía, entre otros. Entre los modelos de este tipo se encuentran el STL-86, de Suiza, el RLS-90 de Alemania, el CoRTN de Inglaterra.

Los modelos de fuente son esencialmente empíricos y conllevan una concepción estadística del fenómeno puesto que el conocimiento de la potencia acústica y la directividad de cada vehículo es una tarea inabordable e injustificada. Los niveles sonoros base a la distancia de referencia normalmente se determinan realizando un gran número de medidas en diferentes condiciones de tráfico, pero que son cuidadosamente detalladas para poder aislar el factor emisión de la influencia de otras variables del entorno. Como se verá a continuación, existe una cierta dispersión entre los diferentes modelos de fuente respecto a los valores de emisión de referencia y las variables de los vehículos, tales como distancia de referencia, altura de la fuente, rango de velocidades o de los tipos de vehículos, incluso normalizando la distancia de referencia, el nivel sonoro base de emisión a tal distancia resulta dispar en los diferentes modelos. [1]

A continuación se especifican los modelos de ruido de tráfico utilizados en esta investigación:

RLS-90(Alemania); SP-48, SP-96 (Países Nórdicos); CERTU (Francia); CoRTN (Gran Bretaña); STL-86 (Suiza); FHWA (Estados Unidos); Fagotti (Italia); Sánchez (España); González (Uruguay); CONAMA96, 2001 (Chile); Valdivia (Chile).

## **2.2. SOFTWARE DE MODELACIÓN CADNA/A NOISE MAPPING**

Cadna/A (Computer Aided Noise Abatement) es un software comercial de la empresa alemana DataKustik para el cálculo, presentación, gestión y predicción de la exposición al ruido e impacto de contaminantes atmosféricos. En este estudio se trabaja con Cadna/A, ya que permite la predicción de ruido de diferentes fuentes de ruido y es el disponible en el Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile. Los modelos de tráfico rodado que utiliza son consecuentes con

los métodos dispuestos en la Directiva 2002/46/CE [2]. No obstante a lo anterior incluye numerosas normas locales de los países europeos para las diferentes fuentes de ruido; carreteras, trenes, aviones e industrias.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para realizar la comparativa entre mediciones “*in situ*” y los métodos referidos a la predicción del ruido producido por el tránsito vehicular, modelos matemáticos simples en su etapa de emisión sonora y programas computacionales consta de caracterizar primeramente las vías según el método de viales para mapas de ruido lo que implica tomar directamente de la fuente los niveles de ruido. En este caso se mide a distancias próximas a las vías que son consideradas fuentes lineales de emisión. Las mediciones se realizaron en 92 puntos de las 9 principales vías de la ciudad de Osorno, región de Los Lagos durante el periodo enero - abril de 2008 en días laborables y en horario llamado fuera de punta (09:30-12:30 y 15:30-19:00). Los puntos se escogieron de modo de lograr capturar o medir sólo el ruido generado por el tráfico vehicular en vías con flujos vehiculares más o menos constantes siguiendo los siguientes criterios: carpeta de rodado sin alteraciones, sin apantallamiento acústico por elementos sólidos entre la fuente de ruido (tránsito vehicular) y el punto de medición, descarte de eventos acústicamente anómalos como ladridos de perros, bocinas, sirenas, tiempo de muestreo de 15 minutos [3], 1,5 metros del suelo y a 3,5 metros de cualquier superficie reflectante [4], además de ubicarlo a una distancia promedio de 8 metros del eje de la vía. Se registró el flujo vehicular y la clasificación de vehículos: Livianos, Medianos, Pesados. La clasificación se realizó en base al número de ejes y de ruedas, parámetros posibles de observar durante el conteo de vehículos. Los descriptores registrados en las mediciones fueron el LAeq, L<sub>máx</sub>, L<sub>mín</sub> y los percentiles L10, L50 y L90. Paralelamente se anotaron las medidas de características físicas del entorno del punto de medición y de las condiciones de tráfico de las vías estudiadas. Esta condición del ruido medido fue más bien estable, según su dependencia en el tiempo, considerando flujos mayoritariamente constantes, y en campo libre.

Posteriormente se desarrollan las correcciones utilizadas para comparar apropiadamente los resultados entregados por los diferentes métodos, por ejemplo unificar distancia de referencia, unificar descriptores [5], entre otros, para los modelos matemáticos simples. Para la comparación entre mediciones “*in situ*” y los programas computacionales se utiliza el software de modelación acústica en exteriores Cadna/A, el cual incorpora dentro de su configuración de cálculo algunos de los modelos matemáticos simples descritos en el marco teórico, adicionando a ellos el modelo de propagación. Los métodos de cálculo a utilizar son RLS-90, CoRTN, NMPB-96 (Francia), STL-86, SP-48. A través del software se logra evaluar los fenómenos acústicos de propagación, reflexión y absorción, los cuales no se consideraron en el análisis por modelos matemáticos simples. Teniendo todos estos antecedentes se procede a establecer el modelo de mejor desempeño según las condi-

ciones de medición utilizadas y las características de la ciudad estudiada, a través de un análisis estadístico mediante un test de Kolmogorov-Smirnov con dos objetivos: el primero, determinar si una variable se comporta según una distribución de probabilidad determinada; por ejemplo una distribución normal y en segundo lugar, para determinar si dos muestras obtenidas sobre una variable tienen un comportamiento similar [3] y un análisis de diferencias [6].

$$\text{Diferencia} = |L_{\text{medido}} - L_{\text{simulado}}| \tag{1}$$

Donde:  $L_{\text{medido}}$  es el nivel de ruido medido y  $L_{\text{simulado}}$  es el nivel de ruido modelos predictivos ambos en dBA.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes gráficos se puede observar de manera resumida el comportamiento de los diferentes modelos para el caso en estudio. En la Figura 1 se muestran las diferencias promedio entre nivel medido y nivel predicho, según la Ecuación (1) para los modelos matemáticos simples.

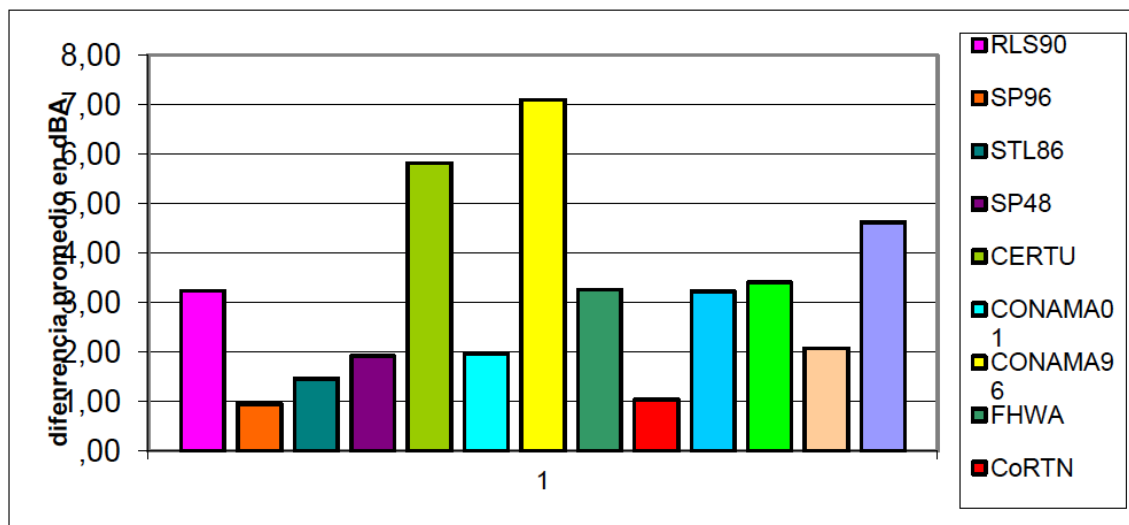


Figura 1: Diferencia promedio en dBA entre valor medido y modelación.

Las tablas 1 y 2 muestran un resumen más detallado, incorporando el porcentaje de puntos con desviaciones menores a 1 y 3 dBA entre nivel medido y el nivel predicho para los modelos matemáticos simples.

Tanto el análisis de diferencias como el test de Kolmogorov-Smirnov, permiten concluir que el modelo de mejor comportamiento bajo el análisis por métodos matemáticos simples es el SP-96. En el siguiente gráfico se puede observar de manera resumida el comportamiento de los diferentes modelos para el caso en estudio. En la Figura 2 se muestran las diferencias promedio entre

	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Modelo</b>	<b>RLS90</b>	<b>SP48</b>	<b>SP96</b>	<b>CERTU</b>	<b>CoRTN</b>	<b>Fagotti</b>	<b>Sánchez</b>	<b>STL86</b>
<b>País</b>	Alemania	Países Nórdicos	Países Nórdicos	Francia	Gran Bretaña	Italia	España	Suiza
<b>Escuela</b>	Carretera	Carretera		1 vehículo	Carretera	-	1 vehículo	Carretera
<b>Desviación (dBA)</b>	3,2	1,9	1,0	5,8	1,0	3,2	3,4	1,5
<b>Puntos &lt;1 dB(A)</b>	18 %	33 %	58 %	0 %	58 %	13 %	4 %	42 %
<b>Puntos &lt;3 dB(A)</b>	43 %	77 %	98 %	2 %	99 %	49 %	36 %	92 %

Tabla 1: Resultados del análisis por modelos matemáticos simples de los métodos europeos.

	9	10	11	12	13
<b>Modelo</b>	<b>FHWA</b>	<b>González</b>	<b>CONAMA 96</b>	<b>CONAMA 01</b>	<b>Valdivia</b>
<b>País</b>	EEUU	Uruguay	Chile	Chile	Chile
<b>Escuela</b>	1 Vehículo	-	Carretera	-	1 vehículo
<b>Desviación (dBA)</b>	3,3	4,6	7,1	2,0	2,1
<b>Puntos &lt;1 dB(A)</b>	17 %	1 %	0 %	32 %	22 %
<b>Puntos &lt;3 dB(A)</b>	46 %	18 %	98 %	85 %	82 %

Tabla 2: Resultados del análisis por modelos matemáticos simples de los métodos americanos.

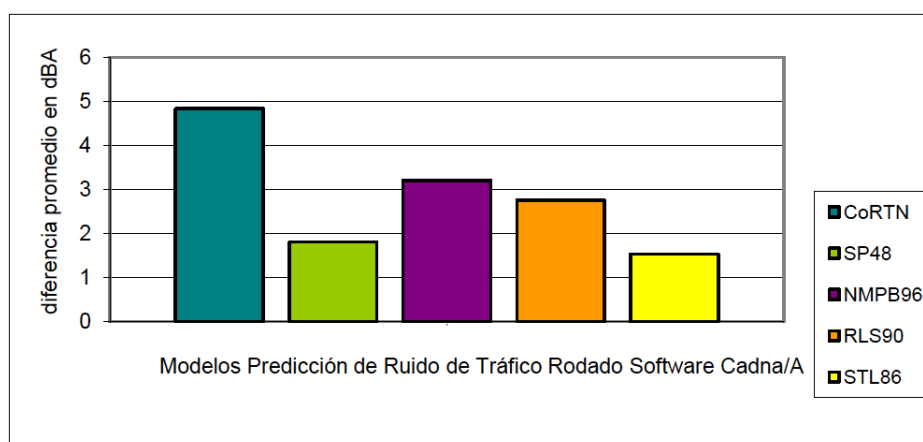


Figura 2: Diferencia promedio en dBA entre valor medido y modelación.

nivel medido y nivel predictivo entregado por el software según la Ecuación 1. Se visualiza una desviación promedio menor a 2 dBA en el modelo suizo y en el modelo de los países nórdicos.

La tabla 3 muestra un resumen más detallado incorporando el porcentaje de puntos con desviaciones menores a 1 y 3 dBA entre nivel medido y el nivel simulado con software Cadna/A.

	1	2	3	4	5
<b>Modelo</b>	<b>CoRTN</b>	<b>SP48</b>	<b>NMPB96</b>	<b>RLS90</b>	<b>STL86</b>
<b>País</b>	Gran Bretaña	Países Nórdicos	Francia	Alemania	Suiza
<b>Escuela</b>	Carretera	Carretera		Carretera	Carretera
<b>Desviación (dBA)</b>	4,8	1,8	3,2	2,8	1,5
<b>Puntos &lt;1 dB(A)</b>	0%	30%	14%	26%	40%
<b>Puntos &lt;3 dB(A)</b>	9%	84%	53%	58%	91%

Tabla 3: Resultados del análisis por software de predicción de los estándares europeos incorporados por Cadna/A.

Tanto el análisis de diferencias como el test de Kolmogorov-Smirnov, permiten concluir que el modelo de mejor comportamiento es el STL-86.

## 5. CONCLUSIONES

En virtud del trabajo de investigación realizado se presentan las principales conclusiones generales, las que complementan aquellas incluidas en el capítulo de análisis y resultados. A la luz de este estudio se comprueba que los modelos representan una poderosa herramienta cuyo campo de aplicación incluye, la planificación de espacios como el diseño de la trama vial y su flujo vehicular (cantidad, características, velocidad, etc.), control de impacto acústico sobre el ambiente, desarrollo de nuevas legislaciones para regular la contaminación acústica, entre otros.

Se ha realizado una exitosa comparación de los diferentes modelos de ruido de tráfico seleccionados de investigaciones científicas con mediciones en la ciudad de Osorno. A modo de resumen, a través del análisis mediante modelos matemáticos simples, cabe indicar que los métodos de los países nórdicos, SP-48 y SP-96, el suizo STL-86, el inglés CoRTN, el desarrollado por CONAMA01 y el modelo de Sánchez calibrado en Valdivia son instrumentos útiles para predecir el nivel de ruido en una ciudad media chilena a partir de contar el número de vehículos y de considerar las situaciones particulares de cada punto de medida. El análisis mediante software de modelación confirma la capacidad de optimizar el cálculo y la complejidad de los escenarios logrando que de los modelos analizados bajo los dos métodos, el perteneciente a los países nórdicos (SP-48) y el suizo (STL-86) presenten un comportamiento adecuado a la realidad de la ciudad con desviaciones promedio de 1,8 y 1,5 dBA respectivamente, siendo el modelo suizo el de mejor comportamiento.

Puede afirmarse que se debe seguir desarrollando estudios que permitan definir los modelos de ruido de tráfico rodado más apropiados a la realidad de nuestro país, debiéndose tener en cuenta además, que cuanto mayor sea la precisión que se quiera lograr, se deberá contar con mayores recursos técnicos y económicos.

## **6. REFERENCIAS**

- [1] Arana & Asiain. Elaboración de Mapas Acústicos Mediante Técnicas Computacionales. Departamento de Física. Universidad Pública de Navarra. España (2002).
- [2] Unión Europea (UE). DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, Diario Oficial de la Comunidades Europeas, L189/12-25, (2002).
- [3] CONAMA. Estudio elaboración de mapas de ruido mediante software de modelación, para caso piloto (comunas de Antofagasta y Providencia). Gobierno de Chile, CONAMA. Contrato N°01-059/09 adjudicado a AcústicaUACH (2009).
- [4] ISO 1997b. International Organization for Standardization ISO. ISO 1996 2 Acoustics ? Description and Measurement of Environmental Noise. (1997).
- [5] Arana, M. Estudio del Ruido Ambiental en Pamplona, España. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España (1989).
- [6] Alvarez & Suárez. 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).