



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A147

Metodología de estudio de ruido de tránsito en el área urbana de Santiago – Ejercicio aplicado a plan de transporte público de Santiago

Aldo Campos Pérez ^(a),
Christian Gerard Büchi ^(b),

(a) Control Acústico Ltda. Villaseca 21 dep 505, Ñuñoa, Santiago, Chile. Email
acampos@controlacustico.cl.

(b) Control Acústico Ltda. Villaseca 21 dep 505, Ñuñoa, Santiago, Chile. Email
cgerard@controlacustico.cl.

Abstract

Under the environmental and economic assessment of public transport system in Santiago de Chile, from 2005, It`s developed a methodology for the characterization and modeling of noise emissions, for a theoretical exercise of assessment the noise level increase or decrease, considering mathematical simulations, with and without the Public Transport Plan (PTP). The measurements to characterize the noise emission executed according to the recommendations contained in the document "“ACTA DE RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN”" published by the official journal of the European Union on August 6, 2003. The noise reduction introduced by PTP, is around 1.9 to 3.9 dBA for year 2005 and 2010 respectively. Noise reduction is significant high emission road without PTP, especially in road with noise in between 80 to 90 dBA.

Resumen

En el marco de la evaluación ambiental y económica del plan de sistema de transporte público de Santiago, a partir del año 2005, se desarrolló una metodología para la caracterización y modelación de emisiones de ruido, tendiente a desarrollar un ejercicio teórico en el cual se evaluará el incremento o de descenso del nivel de ruido, considerando simulaciones matemáticas, con y sin Plan de Transporte de Público (PTP). Las mediciones para caracterizar la emisión sonora se realizan de acuerdo a las recomendaciones contenidas en el documento "“ACTA DE RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN”" publicado por el diario oficial de la Unión Europea el 6 de agosto de 2003. La reducción de ruido introducida por el PTP, esta en torno a 1.9 a 3.9 dBA en los cortes 2005 y 2010 respectivamente. Es significativa en las vías con mayor emisión de ruido en el escenario Sin PTP, especialmente en las vías que se ubican en el tramo 80 a 90 dBA.

1 Introducción

En el año 2002, el gobierno de Chile impulsó un proyecto de modernización de transporte urbano de Santiago, cuyo objetivo era marcar un fuerte impacto en el desarrollo y calidad de vida en la ciudad. El programa incluía importantes hitos, como la modernización del transporte público, y un programa de reducción y transacción de contaminantes.

En el marco de la evaluación ambiental y económica del plan, a partir del año 2005, se desarrolló una metodología para la caracterización y modelación de emisiones de ruido, tendiente a desarrollar un ejercicio teórico en el cual se evaluará el incremento o de descenso del nivel de ruido, considerando simulaciones matemáticas, con y sin Plan de Transporte de Público (PTP).

Finalmente, el 10 de febrero de 2007, entró en operación el PTP conocido como “Transantiago”, el cual ha sido constantemente modificado tanto en el diseño, así como el modelo de gestión.

Este documento presenta los resultados teóricos y metodologías aplicados al PTP original, con el objetivo de caracterizar emisiones y nivel de ruido en áreas de influencia que cubren la zona urbana de centros altamente poblados y que cuentan con una compleja red de transporte.

2 Metodología

2.1 Modelación de nivel de ruido con y sin STP

El objetivo de la etapa de modelación de emisiones de ruido consiste en un ejercicio teórico en el cual se evaluará el delta de incremento o de descenso del nivel de ruido considerando las simulaciones con sistema de transporte de pasajeros y sin sistema de transporte de pasajeros.

Para esto se utilizan como datos de entrada las variables de flujo vehicular en horario punta mañana, segmentado por cada categoría de vehículos, además de las velocidades de desplazamiento por cada arco.

Con este ejercicio es posible establecer las variaciones de nivel de ruido que introduce el plan del sistema de transporte de pasajeros en los cortes 2005 y 2010 respectivamente. Para efectos del estudio de evaluación ambiental estratégica el dato de salida importante corresponde a la variación de nivel de ruido para el corte 2010.

2.2 Área de influencia directa (AID)

Se ha definido un área de influencia directa (AID), la que será directamente afectada por las acciones del PTP. Para el caso de la componente ruido, dicha AID está comprendida entre el borde de la vía y la fachada más próxima a ésta, a ambos costados. El nivel de presión sonora modelado corresponde al nivel calculado a 2 metros del borde de la calzada. Las contribuciones de energía sonora corresponden solamente al arco vial estudiado, y no se considera la interacción entre vías distintas.

2.3 Determinación del nivel de emisión sonora

Para determinar el nivel de emisión sonora del parque vehicular que transitan por las vías de Santiago con sistema de transporte de pasajeros (STP) y sin sistema de transporte de pasajeros, lo que se realizó fue una caracterización de las emisiones de cada tipo de vehículos. Los tipos de vehículos a considerar fueron vehículos livianos, automóviles, camionetas, taxis colectivos, taxis, vehículos Transantiago antiguos (antiguas micros amarillas), vehículos

Transantiago nuevos, los cuales se desglosan en Transantiago articulados de 180 pasajeros y Transantiago de 80 pasajeros, estos se denominan Transantiago B y C.

Las mediciones para caracterizar la emisión sonora se realizan de acuerdo a las recomendaciones contenidas en el documento “ACTA DE RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN” publicado por el diario oficial de la Unión Europea el 6 de agosto de 2003, 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 [notificada con el número C(2003) 2807] (2003/613/CE). Se tomará solamente la parte del modelo que respecta al cálculo de emisiones sonoras, adaptado XPS 31-133. Esta norma hace referencia a la «Guide du Bruit 1980» (GdB) como modelo de emisiones por defecto para el cálculo del ruido procedente del tráfico rodado. Si un Estado miembro que adopte ese método de cálculo provisional desea actualizar los factores de emisión, se recomienda el procedimiento de medida que se describe seguidamente.

El método francés GdB adaptado, utiliza el nivel de emisión de ruido de un vehículo se caracteriza por el nivel sonoro máximo de paso L_{Amax} en dB medido a una distancia de 7,5 metros del eje de la trayectoria del vehículo. Este nivel sonoro se determina por separado para los distintos tipos de vehículos, velocidades y flujos de tráfico. Aunque se tiene en cuenta la pendiente de la vía, no sucede lo mismo con el pavimento. En el caso de nuestro estudio del STP, se consideró vías sin pendiente debido a que no se contaba con la información topográfica de cada arco de emisión de tráfico.

Para caracterizar las emisiones en distintas velocidades de desplazamiento, se tomaron cluster o grupos de vehículos con velocidad de desplazamiento menores a 20 km/h, entre 20 km/h y 30 km/h, entre 30 km/h y 40 km/h, entre 40 km/h y 50 km/h, entre 50 km/h y 60 km/h y sobre 60 km/h, cada uno de estos cluster se agruparon por cada tipo de vehículos y se les determinó el promedio de emisión estática, es decir, el nivel NPS_{max} que genera cada tipo de vehículo para los distintos cluster o clases de velocidades, con estos niveles de presión es posible determinar la potencia sonora estática L_w .

La potencia sonora estática nos permite determinar el nivel de emisión por vehículo que transita en una hora por cada metro lineal de vía. Los algoritmos matemáticos utilizados para esto son los mismos utilizados por el método francés GdB. Finalmente el dato que tenemos es el nivel de emisión de potencia sonora por metro lineal de vía (L_w/m) para cada tipo de vehículo dependiendo de la velocidad de desplazamiento. La emisión total por arco en una hora simplemente corresponde a la suma energética de la emisión unitaria de cada tipo de vehículo.

Para la predicción de ruidos se utilizan dos clases de vehículos:

- vehículos ligeros (de menos de 3,5 toneladas de carga útil),
- vehículos pesados (de carga útil igual o superior a 3,5 toneladas).
- La adaptación del método GdB aplicada en este estudio debe considerar 4 tipos de vehículos, Trc (160 px), Trb (80px), Autos y Micros (micros antiguas).

No se utilizarán correcciones por carpeta, por no contar con descripción de estas variables, tomando como referencia pavimento de hormigón liso (corrección aproximadamente igual a 0 dBA).

Tabla 1: Emisiones sonoras de cada tipo de vehículos de acuerdo a los promedios medidos en terreno

Vehículo	Trc	Trb	Autos	Micros
Velocidades Km/h	Promedio dBA NPSmáx@7m del eje			
Menor a 30	79.4	79.0	68.1	86.5
Entre 30 y 40	80.9	78.7	71.0	85.8
Entre 40 y 50	82.4	79.9	75.5	85.0
Entre 50 y 60	83.8	82.8	77.1	86.4
Mayor a 60	84.5	83.9	80.0	87.9
Velocidades Km/h	Promedio Lw en dBA			
Menor a 30	101.4	101.0	90.1	108.5
Entre 30 y 40	102.9	100.7	93.0	107.8
Entre 40 y 50	104.4	101.9	97.5	107.0
Entre 50 y 60	105.8	104.8	99.1	108.4
Mayor a 60	106.5	105.9	102.0	109.9
Velocidades Km/h	E dBA	E dBA	E dBA	E dBA
Menor a 30	37.4	37.0	26.1	44.5
Entre 30 y 40	37.5	35.3	27.6	42.4
Entre 40 y 50	37.9	35.4	31.0	40.5
Entre 50 y 60	38.4	37.4	31.7	41.0
Mayor a 60	38.4	37.8	33.9	41.8
Velocidades Km/h	Lw/m 3600	Lw/m 3600	Lw/m 3600	Lw/m 3600
Menor a 30	59.6	59.2	48.3	66.7
Entre 30 y 40	57.5	55.3	47.6	62.4
Entre 40 y 50	57.9	55.4	51.0	60.5
Entre 50 y 60	58.4	57.4	51.7	61.0
Mayor a 60	58.4	57.8	53.9	61.8

2.4 Cálculo de nivel de emisión total en hora punta

Para el cálculo de la emisión total de cada arco de vía, se toman los datos de flujo de tránsito en horario punta mañana, los cuales cuentan con información para cada tipo de vehículo, además de la velocidad de desplazamiento específica del arco. Todos estos son valores promedios anuales para jornada punta, por lo tanto, haciendo la suma energética de los niveles de emisión se obtiene el nivel de potencia sonora por metro lineal de arco vial, para los horarios punta mañana en los cortes 2005 y 2010 en los escenarios con y sin sistema de transporte de pasajeros.

Se debe destacar que los escenarios con sistema de transporte de pasajeros que considera el plan Transantiago totalmente en régimen, por lo tanto, solamente existen la circulación de vehículos Transantiago B y Transantiago C, no existiendo emisiones de vehículos pesados del tipo microbús antiguo (micros amarillas).

La línea de emisión se consideran siempre en la pista próxima al costado derecho de la calzada, es decir, la pista más probable de circulación de la locomoción colectiva, esto debido

a que los datos de entrada no cuentan con el parámetro del número de pistas ni el porcentaje de utilización de estas, pero considerando que las mayores emisiones en las vías que son objetos del estudio corresponde a vehículos de locomoción colectiva, se considera que estas están utilizando la pista mas próxima a la derecha de la calzada.

Con estos datos es posible calcular la propagación sonora de la vía, la cual puede hacerse por distintos métodos ya sea explícitamente, según el modelo de propagación francés NMPB-Routes-96/ XPS 31-133 (la cual coincide con la ISO 9613-2), o aplicar directamente la normativa ISO 9613-2. Todo esto se realiza mediante el software SOUNDPLAN 6.3 el cual incluye ambos métodos, por lo tanto, de acuerdo a la velocidad de procesamiento, se escogerá indistintamente uno u otro.

El área de interés o área de influencia directa del estudio corresponde a la distancia que hay entre la calzada y la fachada expuesta a ambos lados de esta, por lo tanto, las distancias son significativamente menores que 100m y no existirían diferencias entre la utilización de distintos modelos matemáticos de propagación de una fuente lineal.

Con estos datos de potencia sonora por metro lineal para cada arco y ubicados geográficamente en el área de estudio, es posible generar un mapa de propagación, para ver la interacción entre las vías, lo cual de ninguna manera es capas de considerar los efectos que se producen en las intersecciones, por lo que se llama flujo acelerado, flujo desacelerado o flujo pulsante, que así se considera en la norma francesa. Esto simplemente es debido a que este nivel de detalle en la información no esta contenido en las salidas de información de demanda de tránsito del modelo ESTRAUS.

Al mismo tiempo es posible obtener el nivel de ruido a una distancia fija desde la solera, ya sean 3 o 2m de esta, a lo cual se le llama nivel de emisión sonora de la vía, estos valores permiten una comparación de acuerdo a la metodología de medición que definió la SEREMI metropolitana (ex SESMA) para la caracterización de la línea base.

Sin embargo cabe destacar que para el escenario 2005, sin sistema de transporte de pasajeros, el cual es utilizado como variables de ingreso a nuestro modelo de emisión de ruido, corresponden a una simulación ESTRAUS sin ninguna intervención del sistema de transporte, es decir, solamente considerando las mallas de recorridos antiguas y el parque vehicular antiguo. Desafortunadamente las mediciones en terreno se realizaron en el mes de Agosto del 2005, que corresponde a un escenario en el cual ya se había intervenido con el retiro de una parte significativa de los vehículos más antiguos y al mismo tiempo, ya estaban en circulación un número importante de vehículos nuevos.

Por este motivo, el resultado de línea de base modelada, no cuenta con una validación de niveles medidos y modelados, constituyendo el dato inicial, solamente un ejercicio comparativo teórico entre ambos escenarios.

2.5 Escenarios modelados

Los escenarios modelados corresponden al año 2005 con y sin sistema de transporte de pasajeros (STP) y al año 2010 con y sin STP. Los datos de flujo y de velocidades de desplazamiento para cada arco fueron obtenidos de las salidas de la modelación del sistema ESTRAUS emitidos en Junio del año 2006.

En el análisis de cada escenario fue necesario hacer un proceso para geo-referenciar cada uno de los arcos y nodos confortantes del sistema. La salida del modelo ESTRAUS corresponde al formato base de datos, en el cual se especifica el nombre del arco, los flujos para cada tipo de vehículos y las velocidades. Por lo anterior fue necesario fue necesario identificar geográficamente, dentro del área de estudio a que tramo correspondía cada uno de

los arcos. Esto se hizo trasladando las coordenadas nodales a un sistema de información geográfico compatible (en este caso se utilizó el software SoundPlan).

A manera de ejemplo se entregan varios arcos principales, en el cual se ve los datos de entrada y la salida de nivel emisión sonora.

Tabla 2: Salida ESTRAUS y nivel de emisión (extracto del formato típico de datos)

x1	y1	x1	y1	Speed	livianos	Camión Bus	TSB	TSC	Ruido autos	Ruido Pesados	Ruido TB	Ruido TC
348103	6286888	347291	6287016	48	1786	22	0	0	83.5	73.9	0.0	0.0
348103	6286888	348431	6286847	46	241	0	0	0	74.8	0.0	0.0	0.0
348188	6298559	348123	6298753	29	1738	45	35	40	80.7	83.2	74.6	75.6
348123	6298753	348188	6298559	41	1350	18	35	35	82.3	73.1	70.8	73.3
352289	6293130	351445	6292916	45	812	13	0	0	80.1	71.6	0.0	0.0
351445	6292916	352289	6293130	45	96	188	0	0	70.8	83.2	0.0	0.0
344924	6286614	344011	6286781	45	650	43	0	0	79.1	76.8	0.0	0.0
335771	6291119	335768	6291296	45	1240	14	0	0	81.9	72.0	0.0	0.0
335768	6291296	335771	6291119	45	12	8	0	0	61.8	69.5	0.0	0.0
335768	6291296	335763	6291667	37	848	0	0	0	76.9	0.0	0.0	0.0

Tabla 2 (continuación) Salida ESTRAUS y nivel de emisión (extracto del formato típico de datos)

x1	y1	x1	y1	Lw Ruido Total	EM-2M	código	Nombre
348103	6286888	347291	6287016	85.4	77.4	43222A43121	VIC MACKENNA
348103	6286888	348431	6286847	76.2	68.2	43222A43221	VIC MACKENNA
348188	6298559	348123	6298753	87.4	79.4	45251A45253	VIC. MACKENNA
348123	6298753	348188	6298559	84.9	76.9	45253A45251	VIC. MACKENNA
352289	6293130	351445	6292916	82.1	74.1	54041A44841	Victor Domingo
351445	6292916	352289	6293130	84.9	76.9	44841A54041	Víctor Domingo
344924	6286614	344011	6286781	82.5	74.5	561573A33311	VICTOR PLAZA MAY
335771	6291119	335768	6291296	83.8	75.8	14702A14703	VICTORIA
335768	6291296	335771	6291119	71.6	63.6	14703A14702	VICTORIA
335768	6291296	335763	6291667	78.3	70.3	14703A14711	VICTORIA

Para cada escenario se registra un ingreso de 13 682 Arcos.

3 Resultados

3.1 Emisión año 2005 sin STP

Los resultados estadísticos de emisión de las vías urbanas se resumen según el siguiente histograma.

Tabla 3: Histograma 2005 Sin STP

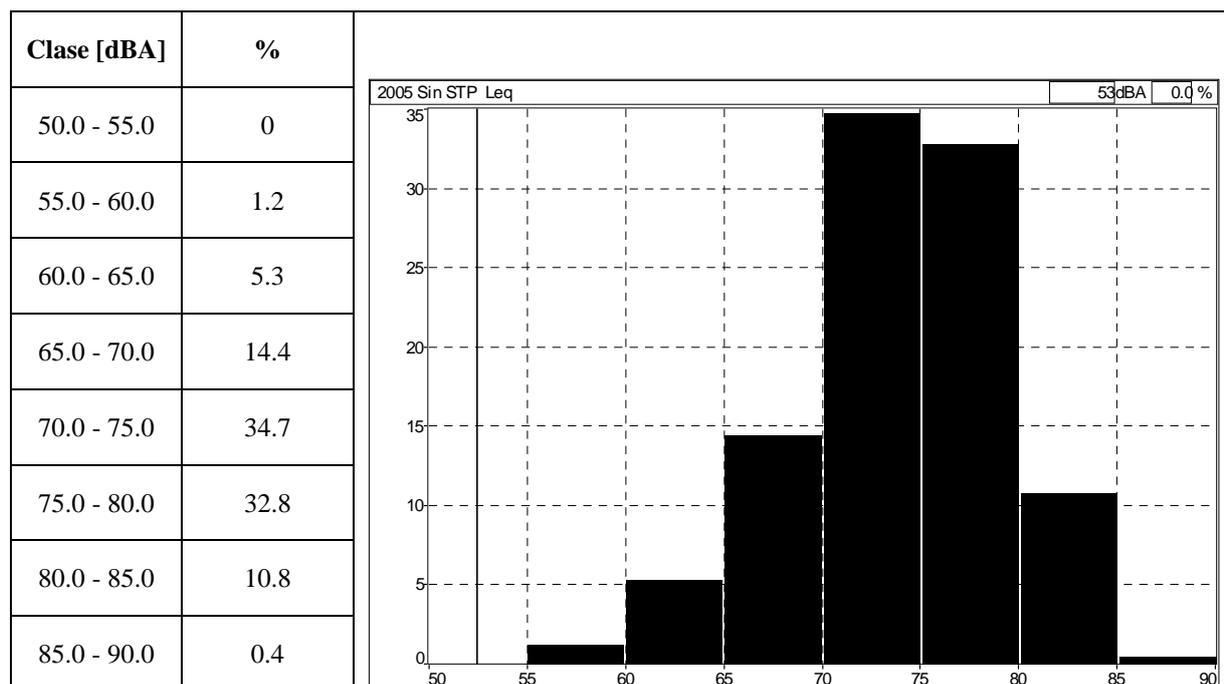


Tabla 4: Resumen General Año 2005 Sin STP

Tipo	Leqmax	StdDev	Percentil 50% Mediana
Leq ₃₆₀₀ Hora Punta	89	5.4	74.9

3.2 Emisión año 2005 con STP

Los resultados estadísticos de emisión de las vías urbanas se resumen según el siguiente histograma.

Tabla 5: Histograma 2005 Con STP

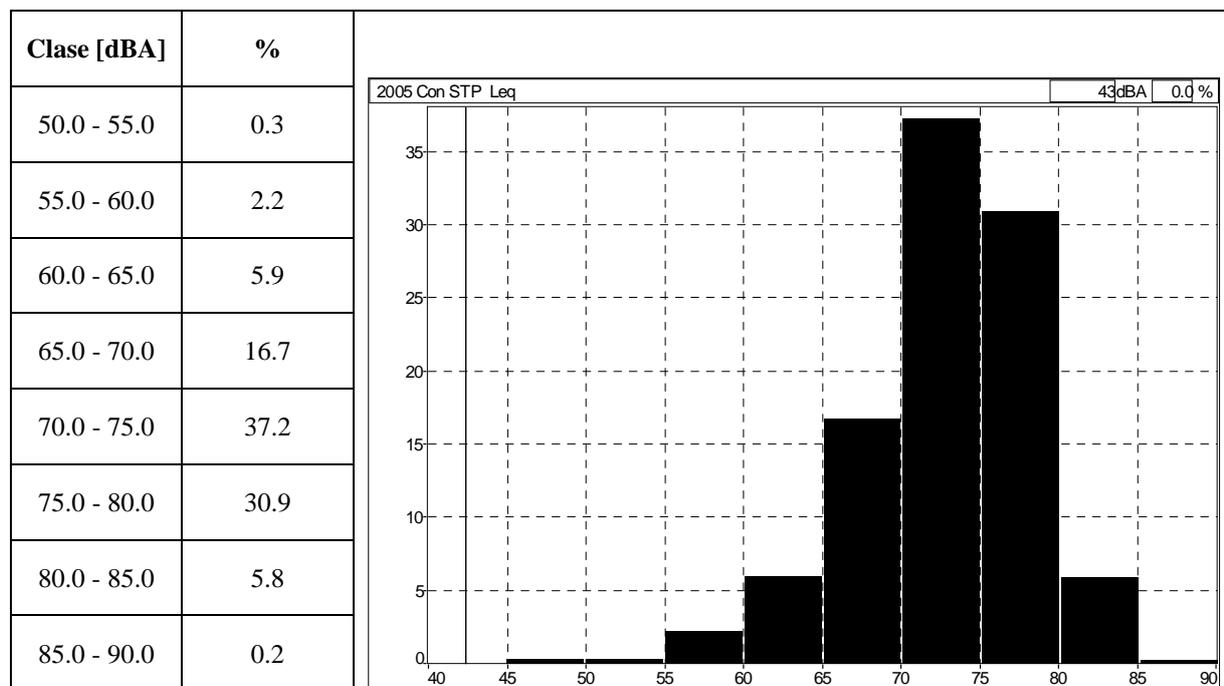


Tabla 6: Resumen General Año 2005 Con STP

Tipo	Leqmax	StdDev	Percentil 50% Mediana
Leq ₃₆₀₀ Hora Punta	85.8	5.6	73.3

3.3 Emisión año 2010 sin STP

Los resultados estadísticos de emisión de las vías urbanas se resumen según el siguiente histograma.

Tabla 7: Histograma 2010 Sin STP

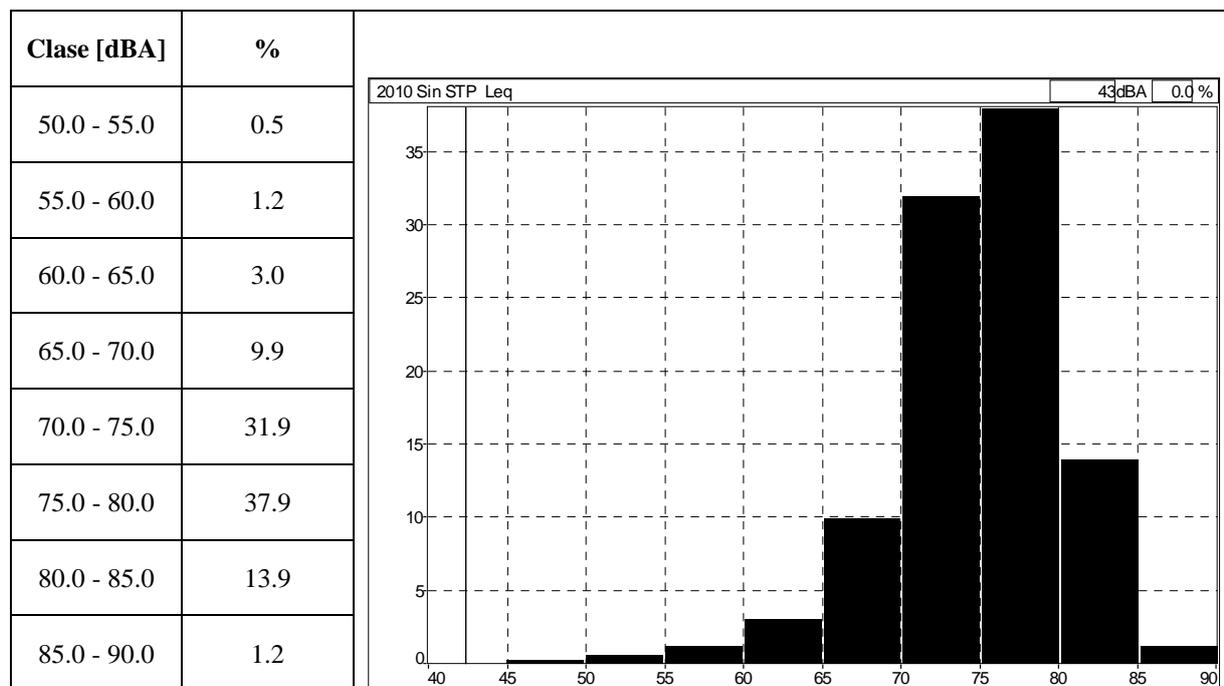


Tabla 8: Resumen General Año 2010 Sin STP

Tipo	Leqmax	StdDev	Percentil 50% Mediana
Leq ₃₆₀₀ Hora Punta	89.7	5.5	75.4

3.4 Emisión año 2010 con STP

Los resultados estadísticos de emisión de las vías urbanas se resumen según el siguiente histograma.

Tabla 9: Histograma 2010 Con STP

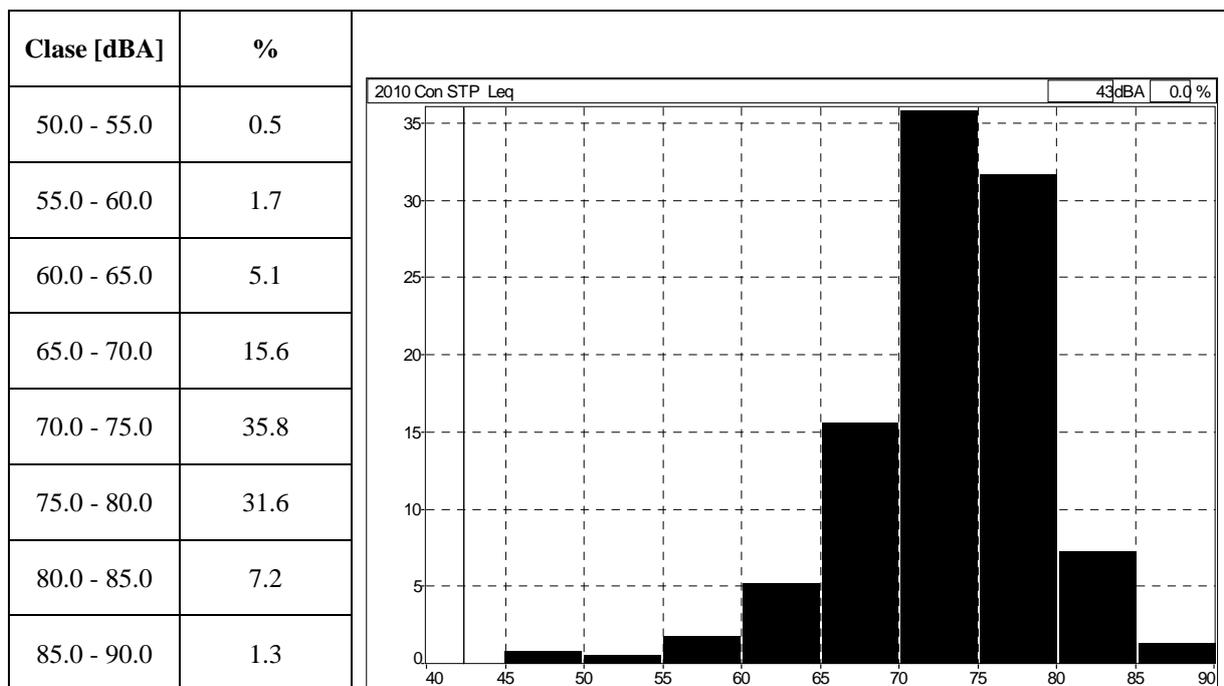


Tabla 10: Resumen General Año 2010 Con STP

Tipo	Leqmax	StdDev	Percentil 50% Mediana
Leq ₃₆₀₀ Hora Punta	86.4	6.0	73.7

4 Análisis

La reducción de ruido introducida por el STP, esta en torno a 1.9 a 3.9 dBA en los cortes 2005 y 2010 respectivamente. Es significativa en las vías con mayor emisión de ruido en el escenario Sin STP, especialmente en las vías que se ubican en el tramo 80 a 90 dBA.

A continuación se muestra el histograma con el resumen de la evolución en la distribución del nivel de emisión de las vías. Se destaca el hecho que en este estudio se denomina “nivel de emisión” al nivel de ruido en dBA medido en la hora punta, el cual es registrado a 2 metros al borde de la calzada y a 1.5 del suelo.

Tabla 11: Histograma Resumen para cada uno de los escenarios modelados

Clase [dBA]	2005 SSTP %	2005 CSTP %	2010 SSTP %	2010 CSTP %
50.0 - 55.0	0	0.3	0.5	0.5
55.0 - 60.0	1.2	2.2	1.2	1.7
60.0 - 65.0	5.3	5.9	3.0	5.1
65.0 - 70.0	14.4	16.7	9.9	15.6
70.0 - 75.0	34.7	37.2	31.9	35.8
75.0 - 80.0	32.8	30.9	37.9	31.6
80.0 - 85.0	10.8	5.8	13.9	7.2
85.0 - 90.0	0.4	0.2	1.2	1.3

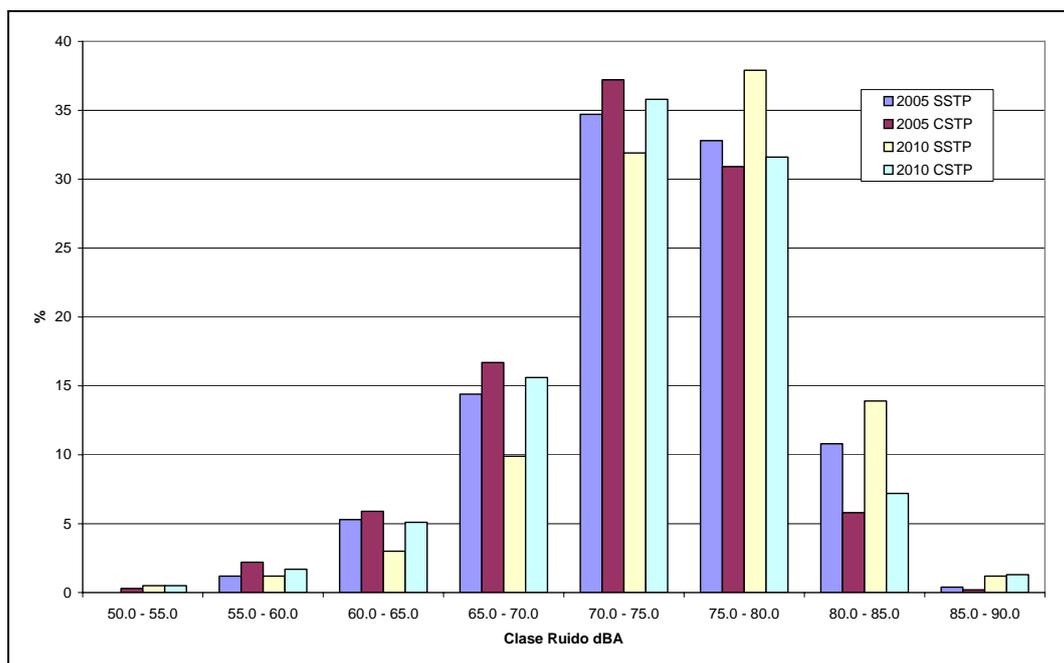


Figura 1. Gráfico de Histograma Resumen de cada escenario modelado

Se observa que el porcentaje de vías con participación en las clases de mayor nivel de ruido, entre 75 a 90 dB(A), presentan una reducción, trasladándose a las clases con menor nivel de ruido, clases entre 50 a 70 dBA.

En el corte 2005, el valor de nivel de ruido mediana se reduce desde 74.9 a 73.3 dBA, con una reducción del nivel de ruido de 1.9 dBA promedio.

La reducción por cada clase de vía para el corte 2005 son las dadas en la tabla 12.

Tabla 12: Reducción de ruido promedio por cada clase para el corte 2005
Sin STP y Con STP

Clase [dBA]	Reducción de ruido 2005 CSTP dBA
50.0 - 55.0	-0.8 (incremento)
55.0 - 60.0	0.7
60.0 - 65.0	2.7
65.0 - 70.0	2.0
70.0 - 75.0	1.7
75.0 - 80.0	1.8
80.0 - 85.0	2.0
85.0 - 90.0	5.1

En el corte 2010, el valor de nivel de ruido mediana se reduce desde 75.4 a 73.7 dBA, con una reducción del nivel de ruido de 3.9 dBA promedio.

La reducción por cada clase de vía para el corte 2010 son las dadas en la tabla 13.

Tabla 13: Reducción de ruido promedio por cada clase para el corte 2010
Sin STP y Con STP

Clase [dBA]	Reducción de ruido 2010 CSTP dBA
50.0 - 55.0	-6.7 (incremento)
55.0 - 60.0	-1.3 (incremento)
60.0 - 65.0	3.1
65.0 - 70.0	3.5
70.0 - 75.0	3.1
75.0 - 80.0	3.5
80.0 - 85.0	8.0
85.0 - 90.0	3.7

Referencias

Margot Wallstrom (2003). "Recomendación de la comisión realtiva a las oreintaciones de cálculo provicionales revisados para le ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emsiuones correspondientes".